



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA CONSUMO HUMANO PARA LA COMUNIDAD  
NITILUISA”**

**TESIS DE GRADO**  
**Previa la obtención del Título de:**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:**  
**PAMELA ESTEFANÍA LOGROÑO VILLAMARÍN**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA CONSUMO HUMANO PARA LA COMUNIDAD  
NITILUISA”**

**TESIS DE GRADO**  
**Previa la obtención del Título de:**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: PAMELA ESTEFANÍA LOGROÑO VILLAMARÍN**  
**TUTOR: ING. MARIO VILLACRÉS**

**RIOBAMBA – ECUADOR**  
**2015**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El tribunal de tesis certifica que el trabajo de investigación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA CONSUMO HUMANO PARA LA COMUNIDAD NITILUISA”, de responsabilidad de la señorita Pamela Estefanía Logroño Villamarín, ha sido prolijamente revisado por los Miembros de Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Mario Villacrés DIRECTOR DE TESIS	.....	.....
Ing. Marco Chuiza ASESOR DE TESIS	.....	.....

## **HOJA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Pamela Estefanía Logroño Villamarín declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en la presente tesis y que el patrimonio intelectual generado por la misma, pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

.....

PAMELA LOGROÑO VILLAMARÍN.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por regalarme siempre un día más de vida, por todas las alegrías y tristezas, las soluciones y los problemas, la abundancia y la escasez, que nos ayudan a ser mejores seres humanos cada día.

Agradezco a mi familia, por todo el apoyo y por ser los pilares fundamentales en mi vida, por ayudarme a cumplir mis metas y sueños, por pensar siempre en mi bien y en mi futuro, porque juntos los cuatro somos uno solo.

A los ingenieros Mario Villacrés y Marco Chuiza por impartir y compartir sus conocimientos y experiencia conmigo, por ayudarme a culminar este proyecto tan importante en mi vida y cumplir mi sueño de ser una Ingeniera Química.

A mis compañeros de aula y a mis amigos, por ser un apoyo más, por compartir conmigo momentos de alegría y de tristeza, porque juntos aprendemos de la vida y ellos son la familia que uno escoge.

PAMELA.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Mario y Bélgica, por el amor, la entrega, la paciencia y la constancia; por ser el mejor ejemplo de trabajo y perseverancia; y por apoyarme incondicionalmente a pesar de cualquier adversidad.

A mi hermano Daniel, por ser mi amigo y mi cómplice, porque no podemos estar juntos pero tampoco separados, porque no me imagino la vida sin él.

Y a mí misma, porque me demostré que puedo lograr lo que me proponga.

PAMELA.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

a	Ancho del sedimentador
a <sub>f</sub>	Ancho del filtro
A	Área del sedimentador
A <sub>f</sub>	Área del filtro
A <sub>o</sub>	Área de los orificios laterales
A <sub>TC</sub>	Área del tanque para la mezcla de Cloro
B	Ancho del vertedero
cm <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
C <sub>a</sub>	Altura de la capa del agua sobre el lecho
C <sub>s</sub>	Altura de la capa de soporte
C <sub>v</sub>	Profundidad del canal del vertedero
C	Concentración del hipoclorito de sodio
C	Concentración del PAC utilizado en la prueba de jarras
CS	Carga Superficial
CU	Coefficiente de uniformidad de la zeolita
d	Diámetro de las partículas
D <sub>o</sub>	Diámetro de los orificios laterales
D <sub>T</sub>	Diámetro de la tubería de entrada al filtro
D <sub>Ts</sub>	Diámetro de la tubería de salida al filtro
D <sub>60</sub>	Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad
e <sub>L</sub>	Separación entre los laterales
f	Factor de fricción del concreto
f <sub>s</sub>	Factor de seguridad
F	Número de Froude
F <sub>c</sub>	Altura del drenaje del sistema
g	Aceleración de la gravedad
G	Gradiente de velocidad
h	Horas
h	Profundidad del sedimentador
h	Pérdida de energía en el resalto
h <sub>c</sub>	Profundidad crítica de flujo

$h_1$	Profundidad supercrítica
$h_2$	Profundidad subcrítica
$H$	Altura de la lámina del agua
$H_{TC}$	Altura del tanque del tanque para la mezcla del Cloro
$k_c$	Coefficiente de mínimo costo
kg	Kilogramos
kg/d	Kilogramos por día
$K$	Constante del tipo de material arrastrado
$l$	Largo del sedimentador
$L_a$	Altura del lecho filtrante
$L_f$	Longitud del filtro
$L_j$	Longitud del resalto para resalto estable
$L_m$	Longitud del salto
m	Metros
$m^2$	Metros cuadrados
$m^3$	Metros cúbicos
ml	Mililitros
min	Minutos
mg	Miligramos
$n_f$	Número de filtros
$n_L$	Número de filtros
$N_L$	Número de laterales
$pie^3$	Pie cúbico
ppm	Partes por millón
$P$	Altura de la pared del vertedero
$P$	Porcentaje de dilución
$P_{Cl}$	Peso de cloro
$q$	Caudal por unidad de ancho
$Q$	Caudal de diseño
$Q_o$	Caudal que ingresa a cada orificio lateral
$Q_1$	Caudal 1
$Q_2$	Caudal 2
s	Segundos
t	Tiempo de retención



$t$	Tiempo de mezcla
$t_L$	Tiempo óptimo de lavado
$T$	Período de almacenamiento de la solución
$Trh$	Tiempo de residencia hidráulico
$TE$	Tamaño efectivo de la zeolita
$UFC$	Unidades Formadoras de Colonias
$v_e$	Velocidad del agua a través de la tubería de entrada
$v_m$	Velocidad media en el resalto
$v_s$	Velocidad del agua a través de la tubería de salida
$v_1$	Velocidad del agua en el salto
$v_1$	Velocidad óptima de lavado del filtro
$v_2$	Velocidad del agua en el resalto
$V$	Volumen del sedimentador
$V_h$	Velocidad horizontal
$V_H$	Volumen del hipoclorador
$V_H$	Velocidad de arrastre
$V_L$	Volumen de agua necesaria para el lavado del filtro
$V_o$	Velocidad en los orificios laterales
$V_{TC}$	Volumen del tanque para la mezcla de Cloro
$Z_f$	Altura del filtro
$\$$	Dólares
$\rho$	Densidad del PAC
$s$	Peso específico de las partículas
$\gamma$	Peso específico del agua
$\mu$	Viscosidad dinámica del agua

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1 <b>MARCO TEÓRICO</b> .....	5
1.1 <b>Agua potable</b> .....	5
1.1.1 <i>Calidad del Agua</i> .....	5
1.2 <b>Fuentes de abastecimiento de agua dulce</b> .....	6
1.2.1 <i>Pluviales</i> .....	6
1.2.2 <i>Superficiales</i> .....	6
1.2.3 <i>Subterráneas</i> .....	7
1.2.3.1 <i>Problemas en aguas subterráneas</i> .....	7
1.2.3.1.1 <i>Parámetros de Aguas Subterráneas</i> .....	8
1.2.3.1.1.1 <i>Parámetros físicos</i> .....	8
1.2.3.1.1.2 <i>Parámetros químicos</i> .....	9
1.2.3.1.1.3 <i>Parámetros microbiológicos</i> .....	13
1.3 <b>Planta de Potabilización de Agua</b> .....	14
1.3.1 <i>Captación</i> .....	15
1.3.2 <i>Muestreo</i> .....	15
1.3.3 <i>Pruebas de Jarras</i> .....	16
1.3.4 <i>Filtración</i> .....	18
1.3.4.1 <i>Medios filtrantes</i> .....	19
1.3.4.2 <i>Consideraciones de Diseño del Filtro Lento de Zeolita</i> .....	20
1.3.5 <i>Mezcla rápida</i> .....	27
1.3.5.1 <i>Consideraciones de Diseño de Mezcla Rápida en Vertedero Rectangular</i> .....	28
1.3.6 <b>Coagulación</b> .....	35
1.3.6.1 <i>Coagulantes</i> .....	35
1.3.7 <b>Floculación</b> .....	36
1.3.8 <b>Sedimentación</b> .....	37
1.3.8.1 <i>Consideraciones de Diseño del Sedimentador Rectangular</i> .....	38
1.3.9 <b>Desinfección</b> .....	41
1.3.9.1 <i>Criterios de Diseño de la Desinfección</i> .....	42

## CAPÍTULO II

2	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	44
2.1	<b>Diagnóstico</b> .....	44
2.2	<b>Muestreo</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
2.3	<b>Metodología</b> .....	46
2.3.1	<i>Tratamiento de las muestras</i> .....	47
2.4	<b>Datos experimentales</b> .....	47
2.4.1	<i>Caracterización del Agua para Diagnóstico</i> .....	47
2.4.2	<i>Resultados de los Parámetros fuera de Norma</i> .....	49

## CAPÍTULO III

3	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b> .....	51
3.1	<b>Cálculos</b> .....	51
3.1.1	<i>Pruebas de tratabilidad</i> .....	51
3.1.1.1	<i>Prueba de Jarras</i> .....	51
3.1.2	<i>Diseño de Ingeniería</i> .....	52
3.1.2.1	<i>Propuesta de Diseño de Planta de Potabilización de Agua</i> .....	52
3.1.2.2	<i>Cálculos de Ingeniería</i> .....	52
3.1.2.2.1	<i>Caudal de diseño</i> .....	52
3.1.2.2.2	<i>Filtro lento de zeolita</i> .....	53
3.1.2.2.3	<i>Vertedero rectangular</i> .....	59
3.1.2.2.4	<i>Sedimentador rectangular</i> .....	65
3.1.2.2.5	<i>Desinfección</i> .....	69
3.1.2.2.6	<i>Dosificación del Policloruro de Aluminio</i> .....	71
3.1.2.3	<i>Capacidad o Dimensionamiento de la Planta</i> .....	72
3.1.2.3.1	<i>Resultados de Caudal de Diseño</i> .....	72
3.1.2.3.2	<i>Resultados del Filtro Lento de Zeolita</i> .....	72
3.1.2.3.3	<i>Resultados del Vertedero Rectangular</i> .....	73
3.1.2.3.4	<i>Resultados del Sedimentador Rectangular</i> .....	73
3.1.2.3.5	<i>Resultados de la Desinfección</i> .....	74
3.1.2.3.6	<i>Resultados de la Tratabilidad del Agua</i> .....	74
3.1.2.4	<i>Tipos de Materiales y Accesorios</i> .....	75
3.1.2.5	<i>Requerimientos y Presupuesto</i> .....	76

3.2	<b>Resultados .....</b>	77
3.2.1	<b><i>Resultados de los Análisis físico-químicos y microbiológicos del agua cruda y tratada ....</i></b>	77
3.2.2	<b><i>Discusión de Resultados .....</i></b>	78
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	80
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	81
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Parámetros de Diseño Para Filtros Lentos .....	26
Tabla 1.2	Parámetros de Diseño de Laterales .....	26
Tabla 1.3	Parámetros de Diseño para las velocidades en las tuberías del filtro .....	26
Tabla 1.4	Propiedades del Medio Filtrante .....	27
Tabla 1.5	Propiedades Físicas del Agua a 1 atmósfera de Presión .....	34
Tabla 1.6	Información Para el Diseño de Sedimentadores Rectangulares .....	39
Tabla 1.7	Demanda de Cloro para Aguas .....	43
Tabla 2.1	Método para la toma de muestras .....	45
Tabla 2.2	Resultados del Análisis Físico-Químico del Agua .....	48
Tabla 2.3	Resultados del Análisis Microbiológico del Agua .....	48
Tabla 2.4	Resultados de los Parámetros Fuera de Norma .....	49
Tabla 3.1	Resultados del Caudal de Diseño .....	72
Tabla 3.2	Resultados del Filtro Lento de Zeolita .....	72
Tabla 3.3	Resultados del Vertedero Rectangular .....	73
Tabla 3.4	Resultados del Sedimentador Rectangular .....	73
Tabla 3.5	Resultados de la Desinfección .....	74
Tabla 3.6	Resultados de la Tratabilidad del Agua .....	74
Tabla 3.7	Tipos de Materiales y Accesorios .....	75
Tabla 3.8	Costos de Químicos por día .....	76
Tabla 3.9	Costo de Zeolita .....	76
Tabla 3.10	Salario Operador de la Planta .....	76
Tabla 3.11	Costo Total de la Implementación de la Planta por año .....	76
Tabla 3.12	Resultados de los Análisis físico-químicos del agua cruda y tratada .....	77
Tabla 3.13	Resultados de los Análisis microbiológicos del agua cruda y tratada .....	78
Tabla 3.14	Porcentajes de Remoción de Fosfatos y Nitritos .....	79

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 Esquema Planta de Potabilización de Agua .....	14
Gráfico 1.2 Esquema Equipo de Prueba de Jarras .....	17
Gráfico 1.3 Agitadores Mecánicos .....	27
Gráfico 1.4 Mezcladores Hidráulicos .....	28
Gráfico 1.5 Resalto en un Vertedero Rectangular .....	28
Gráfico 1.6 Principio de Floculación .....	36
Gráfico 2.1 Parámetros fuera de Norma: Fosfatos .....	49
Gráfico 2.2 Parámetros fuera de Norma: Nitritos .....	50

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** NORMA TÉCNICA ECUATORIANA: NTE INEN 1108:2006 AGUA POTABLE. REQUISITOS.
- Anexo B:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA CRUDA EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS DE LA “ESPOCH”.
- Anexo C:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA CRUDA EN EL LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES “UNACH”.
- Anexo D:** RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA EN EL LABORATORIO “SAQMIC”.
- Anexo E:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS “ESPOCH”.
- Anexo F:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA EN EL LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES “UNACH”.
- Anexo G:** DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA PROPUESTO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD NITILUISA.
- Anexo H:** SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AGUA EN LA COMUNIDAD NITILUISA.
- Anexo I:** SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AGUA EN LA COMUNIDAD NITILUISA.
- Anexo J:** PRUEBAS DE TRATABILIDAD O PRUEBA DE JARRAS.
- Anexo K:** VISTA ISOMÉTRICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.
- Anexo L:** VISTA EN PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.
- Anexo M:** DISEÑO FILTRO LENTO DE ZEOLITA.
- Anexo N:** DISEÑO VERTEDERO RECTANGULAR.
- Anexo O:** DISEÑO SEDIMENTADOR RECTANGULAR.
- Anexo P:** COTIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS.
- Anexo Q:** HOJA TÉCNICA DE LA ZEOLITA.
- Anexo R:** CONSIDERACIONES PARA EL LAVADO DEL FILTRO LENTO DE ZEOLITA.
- Anexo S:** HOJA TÉCNICA DEL POLICLORURO DE ALUMINIO.
- Anexo T:** DOSIFICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO.
- Anexo U:** HOJA TÉCNICA DEL HIPOCLORITO DE SODIO.
- Anexo V:** DOSIFICACIÓN DEL HIPOCLORITO DE SODIO.

## RESUMEN

Se realizó el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua Potable para Consumo Humano para la Comunidad de Nitiluisa, perteneciente a la parroquia Calpi del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, para mejorar la calidad de vida y el desarrollo de las personas de este lugar, mediante un líquido vital que garantice su salud y bienestar. Se hizo la caracterización físico-química y microbiológica de diferentes muestras y en diferentes épocas del año en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” y en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la “Universidad Nacional de Chimborazo”, para poder comparar los parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles de acuerdo a la Norma NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable, Requisitos”, encontrando así los fosfatos y nitritos, para cuya remoción se utilizó un Filtro de Zeolita y el químico Policloruro de Aluminio para la floculación. Después de realizar las pruebas de jarras se determinó la dosis necesaria de químico para la remoción de fosfatos y nitritos, y se obtuvo una eficiencia de 92% y 100% respectivamente, resultados que indican que el tratamiento aplicado es el adecuado para este caso. Posteriormente se hicieron los cálculos de ingeniería para establecer las etapas necesarias para este sistema, teniendo así: filtración lenta, utilizando como medio filtrante la zeolita; mezcla rápida en vertedero rectangular; sedimentación-floculación y desinfección. Con la aplicación de este Sistema de Tratamiento de Agua para la Comunidad de Nitiluisa, se podrá distribuir un recurso de calidad que sea apto para el consumo humano, asegurando la salud de las personas que viven en esta zona. Se recomienda a la Junta Parroquial la implementación del mismo para este caso y para otros que necesiten de un tratamiento de agua, siendo un derecho de todas las personas contar con este tipo de servicios básicos.

**Palabras claves:** <SISTEMA TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE>, <AGUA POTABLE>, <AGUA SUBTERRÁNEA>, <FILTRACIÓN>, <ZEOLITA>, <VERTEDERO>, <SEDIMENTACIÓN>, <FLOCULACIÓN>, <POLICLORURO DE ALUMINIO>, <DESINFECCIÓN>



## SUMARY

It was carried a Design of Treatment System of Water for Human Consumption at Nitiluisa Community; belonging to Calpi from Riobamba canton in the Chimborazo province to improve the quality of life and the people developing of this place through vital liquid ensures their health and wellness. It was made the physic-chemical and microbiological characterization of different samples in different year seasons at Laboratory of Technical Analysis of the Sciences Faculty of the “Polytechnic School of Chimborazo” and at Environmental Services Laboratory of “National University of Chimborazo” in order to compare the parameters that they were outside the permissible limits according to the Standard NTE INEN 1108:2006 “Drinking Water Requirements”, finding phosphates and nitrites for which removal was used a zeolite filter and as chemical aluminum polychloride for the flocculation. After testing jars chemical was determined the required doses of chemical for phosphates and nitrites removal and it was obtained an efficiency of 92% and 100% respectively, results indicate that the applied treatment is appropriate for this case. After that engineering calculations, were made to establish the necessary steps for this system, obtaining the following data: slow filtration using as filter medium the zeolite, quick mixture in rectangular landfill, sedimentation-flocculation and disinfection. With the application of the Water Treatment System for Nitiluisa Community, it will be distributed a quality resource to the human consumption, ensuring the health of the people who live in this area. It is recommended to the Junta Parroquial the implementation of the system for this case and other ones for water treatment, being a right of all people to have this kind of basic services.

**Key words:** <TREATMENT SYSTEM OF THE WATER>, <DRINKING WATER>, <GROUND WATER>, <FILTRATION>, <ZEOLITE>, <LANDFILL>, <SEDIMENTATION>, <FLOCCULATION>, <ALUMINUM POLYCHLORIDE>, <DESINFECTION>

## **INTRODUCCIÓN**

La Comunidad Nitiluisa es un sector de bajos recursos que carece de un Sistema de Tratamiento de Agua Potable, motivo por el cual consumen el agua directamente de una vertiente subterránea, sin un tratamiento previo, siendo esto, causa de enfermedades en la población, especialmente en los niños. Por ello, el presidente y la directiva de esta comunidad han accedido de manera satisfactoria a la realización de este estudio.

El agua es un recurso vital para la supervivencia del hombre y es un derecho de todos recibir agua de calidad y segura para nuestro consumo. Actualmente, la mayoría de las fuentes de agua se encuentran contaminadas debido a las actividades del ser humano o a las condiciones ambientales, por ello es necesario dar un tratamiento adecuado al efluente antes de ser distribuido hacia las poblaciones, para de esta manera evitar enfermedades y asegurar el desarrollo de las personas.

La gente que habita esta zona construyeron un tanque de recepción hace muchísimos años y conducen el agua mediante tuberías de polietileno hacia los tres barrios existentes, sin embargo, esta no siempre es limpia o constante debido a las condiciones climáticas, especialmente en la época de invierno. Este tipo de condiciones son la razón principal por la cual se realizó este estudio, en el que se determinó el tratamiento adecuado que consta de un Filtro Lento de Zeolita, Coagulación con Policloruro de Aluminio, Sedimentación y Desinfección con Hipoclorito de Sodio, asegurando de esta manera un recurso de calidad que cumpla con los parámetros que dicta la norma y que garantice la salud y la calidad de vida de la gente que la consuma.

### **Antecedentes**

Dentro de los límites de la ciudad de Riobamba, en la parroquia de Calpi, existe una pequeña comunidad llamada Nitiluisa, que se encuentra a sólo 18 km de la ciudad y está a 3200 metros de altura sobre el nivel del mar (SNM). Esta comunidad está habitada por gente indígena de bajos recursos, donde su principal sustento es la agricultura y la ganadería, son gente que carece de ciertos servicios básicos y de una buena educación, se puede decir que es una de las comunidades más pobres de nuestra provincia.

La Comunidad tiene aproximadamente 360 familias, que representa a 1800 personas. La población es muy joven, sin embargo gran parte de la población migra a la ciudad de Riobamba en busca de trabajo y una mejor calidad de vida, razón por la cual la mayoría de la población es mayor. Los idiomas que se hablan en esta Comunidad son el quichua y el castellano. La comunidad cuenta con un centro infantil al que asisten niños de uno a cinco años, también existe la escuela “Autachi” a la que asisten niños a partir de los 6 años. Al terminar la escuela, el 60% ingresan al colegio de la localidad y un 40% no continúan sus estudios por falta de recursos económicos.

Los problemas más comunes de salud en esta comunidad, son debido al clima, como gripe, neumonía, etc.; y otros problemas como desnutrición debido a la mala alimentación. Otro problema grave es la falta de higiene y una deficiente estructura sanitaria, ya que la mayoría de viviendas utilizan pozos sépticos contruidos artesanalmente. Los caminos son de tierra y no se encuentran en buen estado, aunque a cantidad de carros que transitan por estas vías son pocos. El agua que consumen los habitantes viene de una vertiente subterránea y llega desde un tanque principal, hacia dos tanques de reserva y se reparte a los tres barrios que son:

- Barrio Central.
- Barrio Corona Real.
- Barrio Rumipamba.

Este líquido vital no cuenta con ningún tipo de tratamiento, siendo otra de las causas de enfermedades en el lugar. La comunidad cuenta solamente con un tanque de cemento construido por los habitantes de la zona hace muchos años, que no cuenta con una tapa hermética; de éste salen tuberías que se dirigen a los tanques de reserva y posteriormente a las viviendas.

Nitiluisa al ser una comunidad muy pobre y al estar alejada de la cabecera cantonal, no ha sido tomada en cuenta en muchos de los proyectos que se realizan a nivel de ciudad, por ejemplo, nunca antes se ha realizado ningún tipo de análisis o de tratamiento al agua que consumen los habitantes de este lugar, a pesar de ser un servicio básico y a pesar de que utilizan este servicio hace muchísimos años, razón por la cual es necesario que puedan consumir este líquido vital con total seguridad y así su salud y su calidad de vida mejoren.

## **Justificación**

La comunidad de Nitiluisa, debido a los bajos recursos, la falta de empleo en la zona, la baja producción agrícola, se ha quedado sin gente joven y por lo tanto sin mano de obra masculina porque estos migran hacia las ciudades más grandes en busca de un mejor futuro. Esto ha ocasionado la desintegración familiar, el retroceso de la comunidad y la pérdida sus valores culturales.

La Comunidad carece de agua potable y alcantarillado, existen muy pocas familias con línea telefónica. Las calles son de tierra, se encuentran en mal estado, y se van deteriorando cada vez más, sobre todo en la época de invierno con las lluvias.

Nitiluisa tiene desde hace muchos años, desarrollado un sistema de agua entubada que va desde una vertiente subterránea hacia un tanque de cemento y posteriormente se conduce el agua por tuberías hacia los tres barrios, este líquido se conduce por gravedad hasta los tanques de almacenamiento.

El agua que sirve para el consumo de los habitantes llega sin un tratamiento previo, es decir, el agua que consume esta comunidad tiene diferentes tipos de parámetros que se encuentran fuera de norma, lo que afecta a la salud de los habitantes y especialmente al crecimiento y desarrollo de los niños que viven en esta zona.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deben dotar a la población de los servicios básicos, sin embargo, debido al crecimiento de la población en nuestro cantón y a otros factores, existen comunidades como Nitiluisa que carecen de estos servicios.

Las consecuencias de consumir agua sin un tratamiento adecuado son afectar el modo de vida y la salud de las personas que la consumen. La comunidad vive de la agricultura y ganadería, por lo tanto existe la presencia de fosfatos y de compuestos nitrogenados en el efluente, un nivel elevado de éstos en el agua de consumo puede causar problemas de salud, como el daño a los riñones, osteoporosis, entre otros.

Además, en época de invierno, debido al arrastre de las lluvias, el agua llega al tanque con tierra, haciendo inseguro su consumo, para lo cual se debería utilizar un filtro o un sedimentador con el fin de que el agua no tenga partículas.

Por otra parte, el agua puede tener microorganismos, esto afecta a la salud de los habitantes de la comunidad y esto repercute en el crecimiento y desarrollo saludable especialmente de los niños, que

son los más vulnerables a enfermedades; para esto se deberá utilizar un tratamiento de desinfección para eliminar los patógenos del agua.

Después de este breve diagnóstico, vemos que es necesario que la gente de esta comunidad cuente con un sistema de tratamiento de agua para consumo humano y de esta manera evitar problemas de salud a futuro y así puedan alcanzar una mejor calidad de vida. Es por esto, que se plantea realizar el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua Potable mediante la caracterización del agua y el tratamiento más adecuado para la comunidad de Nitiluisa.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Diseñar un Sistema de Tratamiento de Agua Potable para Consumo Humano en la Comunidad Nitiluisa.

### **Objetivos Específicos**

- Caracterizar física-química y microbiológicamente el agua en el lugar de captación, es decir, el agua en la situación actual.
- Identificar los parámetros que se encuentran fuera de la norma de referencia: NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable”, para poder encontrar el tratamiento adecuado.
- Realizar las pruebas de tratabilidad o prueba de jarras, una vez que se ha caracterizado el agua y ha pasado por una prueba del diseño propuesto.
- Diseñar el Sistema de Tratamiento de Agua Potable en base a las condiciones de tratabilidad realizada.

## CAPÍTULO I

### 1 MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Agua potable

Se llama Agua Potable o Agua apta para el consumo humano a aquella que después de haber tenido un proceso o tratamiento de purificación, es seguro su consumo y se puede ingerir sin riesgo alguno para la salud. Desde hace siglos, el hombre ha recolectado y transportado el agua de ríos, pozos, lagos, y diferentes fuentes de agua dulce para su consumo. Posteriormente, empezaron a aparecer enfermedades debido al consumo de agua contaminada por residuos, material fecal, etc.; es ahí cuando se vuelve importante la higiene y la calidad del agua.<sup>(<http://www.sld.cu/saludvida/hogar/temas.php?idv=14486>. 2015. Silva)</sup>

Un agua apta para consumo humano debe cumplir con ciertas normas, sean éstas nacionales o internacionales, ya que si no cumple con las normas puede provocar enfermedades y perjudicará la salud de las personas que la consuman, por ello, primero debe pasar por un proceso de potabilización que consiste en varias etapas en las que se eliminan microorganismos, y se controlan los parámetros que se encuentren fuera de rango con respecto a las normas antes mencionadas. Cuando ya es potable, se distribuye por distintas redes hacia los hogares, dotando a la población de un líquido vital en condiciones seguras de consumo.

Cuando un agua no es potable, puede presentar ciertas características anormales como partículas en suspensión, olor, color, etc.; y no debe ser consumida, de lo contrario puede ocasionar enfermedades y hasta la muerte. Por esta razón, es muy importante que los Gobiernos locales no escatimen en este tipo de servicios básicos.<sup>(<http://definicion.de/potable/>. 2008. Definición.de)</sup>

##### *1.1.1 Calidad del Agua*

Cuando hablamos de la Calidad del Agua, es un tema de interés mundial, debido a las obligaciones de todos los Gobiernos locales o centrales de abastecer a toda la población de un líquido vital seguro y saludable para el consumo humano y las repercusiones que tiene el no cumplirlas. Según la Organización Mundial de la Salud, un agua de calidad y salubre debe contar con ciertas características:

- No debe tener color, es decir, un agua pura y de calidad debe ser transparente.
- Debe ser inodora, no puede tener olor de ningún tipo.
- Tampoco debe tener sabor, ya que esto sería debido a la presencia de alguna sustancia ajena al agua.
- No debe tener partículas de ningún tipo en suspensión.
- No debe tener materia orgánica disuelta en ella.
- No puede tener ningún tipo de sustancia como plomo, cobre, fosfatos, yodo, zinc, etc.
- No debe contener microorganismos patógenos que pueden ocasionar enfermedades estomacales o de cualquier tipo.

## **1.2 Fuentes de abastecimiento de agua dulce**

Siendo el agua dulce un recurso necesario para la vida humana, el hombre a través de toda su existencia ha tenido que buscar todo tipo de alternativa para conseguir este líquido vital. Utilizamos el agua para múltiples actividades y en todas ellas es necesario que ésta sea dulce, ya que el agua salada tiene una alta concentración de sales minerales, haciendo imposible su consumo.<sup>(</sup>

<http://es.slideshare.net/paulapsantis/1-agua-dulce-y-agua-salada> .2015. Santis)

Las fuentes de abastecimiento de agua deben ser permanentes y suficientes de acuerdo a la población de cada zona, de esta manera, tenemos dos tipos principales de abastecimiento de agua dulce:

### **1.1.2 Pluviales**

Las aguas pluviales son producto del agua que se evapora de ríos, lagos, mares, etc., y posteriormente estas precipitan como lluvia. Es una fuente de agua dulce muy importante, ya que en muchos lugares se realiza la recolección de lluvia para darle ciertos usos, como riego de cultivos, para dar agua a los animales y también después de un tratamiento adecuado para el consumo humano.

### **1.1.3 Superficiales**

Las aguas superficiales son aquellas provenientes de los ríos, lagos, lagunas, riachuelos, arroyos, etc., es decir, todos aquellos que se encuentren sobre la superficie y estén al alcance del ser humano, desafortunadamente, al encontrarse a la intemperie, están expuestas a la contaminación. Se hallan en mayor cantidad que las subterráneas, sin embargo necesitan de un tratamiento más complejo antes de

ser distribuidas ya que su calidad depende del lugar donde se encuentren, es decir, de las condiciones ambientales y geológicas. (<http://comunidadplanetaazul.com/agua/aprende-mas-acerca-del-agua/aguas-superficiales/>. 2015. Azul)

#### **1.1.4 Subterráneas**

Cuando hablamos de agua subterráneas, nos referimos al agua que se encuentra bajo el suelo, y debido a infiltraciones de ríos cercanos, lagunas o lluvias, descienden por gravedad hacia el subsuelo. Infiltración se refiere al agua que desde la superficie va a descender por el terreno y ocupar parcialmente o totalmente los poros y rocas del suelo.

Las aguas subterráneas en ciertas zonas son la única fuente de agua dulce, y estos son depósitos muy grandes que pueden abastecer durante años a cierta población. Dependiendo de la superficie, será la calidad del agua y de acuerdo a su origen, pueden existir las siguientes fuentes:

- **Acuíferos:** Son formaciones geológicas que pueden almacenar y transportar agua. Existen tres tipos: acuíferos libres, acuíferos confinados y acuíferos colgados.
- **Pozos:** Son agujeros o túneles de forma vertical, que son excavados hasta una profundidad suficiente con el fin de extraer agua dulce para consumo humano. Para poder extraer agua, el hombre desde hace mucho tiempo utiliza los pozos, antes se utilizaban baldes y poleas para poder subirla, estos eran llamados pozos artesanales, pero actualmente los pozos cuentan con tuberías y bombas que suben el agua hasta un tanque donde se la puede almacenar.
- **Manantiales:** Son una fuente natural de agua, que se produce debido a la filtración de la misma por las lluvias, por lo que su obtención se da desde un lugar más alto, hacia uno de menor altura. De esta manera, el agua brota de entre las rocas o la tierra, y dependiendo de la frecuencia de esta, existen dos tipos de manantiales: Efímero o Perenne. (<http://es.slideshare.net/bendinatcomenius/biologia-project>. 2011.

Aimee)

##### **1.1.4.1 Problemas en aguas subterráneas**

Con respecto a la explotación de aguas de origen subterráneo pueden existir distintos problemas:



- **Por agotamiento de la fuente:** Cuando se explota una fuente de agua subterránea se debe tener en cuenta que estas son escasas, se cargan lentamente y se pueden agotar si se hace un uso excesivo de las mismas. Otro de los problemas de estas fuentes es que cuando el agua dulce se va agotando, son invadidas por agua salada y ya no son aptas para el consumo humano. Por esto, es importante que la extracción de aguas subterráneas sean realizadas responsablemente, periódicamente y con los equipos adecuados.
- **Por contaminación del agua:** Las aguas subterráneas suelen ser limpias y carecen de contaminantes, sin embargo, al momento de su extracción o debido a ciertas actividades en la parte superficial estas se pueden contaminar con residuos urbanos, residuos industriales, depósitos tóxicos, pozos sépticos, granjas de animales en la parte superficial del terreno, etc., o por la cantidad excesiva de fertilizantes, plaguicidas, etc. en terrenos que se encuentran en la parte superior. (<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/170AgSub.htm>. 2015. TECNUN)

#### *1.1.4.1.1 Parámetros de Aguas Subterráneas*

Es importante determinar las sustancias y componentes que se encuentran disueltos en el agua que será destinada al consumo humano y las características que ésta debe tener.

##### *1.1.4.1.1.1 Parámetros físicos*

#### **Temperatura**

La temperatura de aguas subterráneas no es muy variable y va a ser cercana a la temperatura atmosférica del lugar y también va a depender de la profundidad a la que esta se encuentre, aumentará 1°C cada 30 metros de profundidad. Los problemas de tener temperaturas altas en el agua son la proliferación de hongos y ciertas plantas.

#### **Color**

El agua en su estado puro va a carecer de color, es decir, va a ser transparente y esto va a indicar una buena calidad de la misma. De acuerdo a las sustancias que se encuentren disueltas en el agua, esta puede tener un color amarillento que puede ser debido a los ácidos húmicos; o un color rojizo que

comúnmente demuestra la presencia de hierro en el agua; o de color negro que indica la presencia de manganeso; etc.

### **Olor y Sabor**

Estos dos parámetros del agua son determinaciones organolépticas, es decir, que para realizarlos no existen equipos, sino que se necesita de los sentidos humanos para poder obtener un resultado, en este caso, el olfato y el gusto. De esta manera, vamos a tener que el agua en su forma pura no debe tener ningún olor ni sabor para poder determinar que es un agua de buena calidad.

### **Conductividad**

Es una medida que va a indicar la capacidad del agua para conducir la electricidad y su valor va a depender de la cantidad de sales disueltas en ésta. Este parámetro se basa en la cantidad de impurezas que esta contiene, pero siempre se debe hacer varias mediciones a la misma temperatura, ya que a mayor temperatura, se tendrá una mayor conductividad

### **Turbidez**

La Turbidez se define como la dificultad que tiene el agua para transmitir la luz debido a las partículas insolubles que se encuentran disueltas en ella en suspensión. Las aguas superficiales tienen una mayor turbidez que las aguas subterráneas. Estas partículas son complicadas de eliminar, sin embargo existen procesos como la coagulación, decantación y filtración.

#### *1.1.4.1.1.2 Parámetros químicos*

### **pH**

Se define como la medida de concentración de iones de hidrógeno o hidrogeniones del agua. Esta medida nos va a indicar la acidez o alcalinidad de una muestra. El equipo con el que medimos este parámetro se llama pH-metro. Las aguas subterráneas pueden tener un pH entre 6,5 y 8,5

## **Dureza**

La dureza del agua es la medida de la concentración de minerales que se encuentran en ésta, específicamente las sales de calcio y magnesio que podrían causar incrustaciones. Es uno de los parámetros más importantes que se debe controlar, ya que puede afectar las tuberías tanto de aguas domésticas como de aguas industriales. Los tipos de dureza en el agua que existen de acuerdo a la cantidad de sales que contienen disueltas en ellas son los siguientes:

- Ligeramente duras: Hasta 100 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$
- Moderadamente duras: Hasta 200 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$
- Muy duras: De 200 ppm en adelante.

## **Alcalinidad**

La alcalinidad se define como la capacidad para neutralizar ácidos. Va a depender de los iones carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ ), oxhidrilo ( $\text{OH}^-$ ) y otros ácidos débiles que se encuentren en ésta. La alcalinidad en el agua no es nociva para la salud, sin embargo, las aguas que tienen bicarbonatos sódicos representan un problema en el regadío de los terrenos por la fijación del sodio en el suelo.

## **Cloruros**

La mayoría de aguas subterráneas tienen sales formadas por este ión, debido a las infiltraciones del agua de lluvia que contienen, todo va a depender del origen del agua que se encuentra en la superficie y el terreno. Dependiendo de la cantidad de Cloruros en el agua, éstos pueden afectar la potabilización de la misma, ya sea para consumo humano, riego o uso industrial. Las sales de cloruros son muy solubles, es por esto que su tratamiento es costoso y algunos de ellos muy difíciles de adaptar a volúmenes grandes.

## **Sulfatos**

Las aguas subterráneas suelen tener una cantidad más elevada de sulfatos que las superficiales y aun cuando estas se encuentren en concentraciones muy bajas, el olor de este ión es característico, a huevo podrido. Este radical en altas cantidades produce un efecto laxante en aguas mineralizadas. La

presencia de sulfatos no produce efectos desagradables, este efecto laxante o de diarrea va a depender de la tolerancia de cada persona y puede darse a partir de los 600 mg/L.

### **Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) , Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y Amonios ( $\text{NH}_4^+$ )**

La presencia de compuestos formados por nitrógeno, no eran temas muy tomados en cuenta con respecto a la calidad del agua, pero después de varios casos de cianosis en niños, debido a la alta presencia de nitratos en el agua, este se volvió un tema de gran importancia ya que este es eliminado por los riñones.

La presencia del Amonio va a colaborar con la producción o el aumento microbiano en el agua, por lo tanto, si se encuentra este parámetro en una muestra, directamente indica la presencia de contaminación en ésta. Sin embargo, es necesario analizar otras causas que también pueden contribuir a la presencia de microorganismos.

La presencia de Nitratos en aguas subterráneas puede ser debido al terreno en el que se mueve el agua, que puede ser un medio reductor en donde se formen nitritos, nitrógeno e incluso amoníaco, o a las actividades que se realizan en la superficie, como terrenos ubicados en áreas industriales o granjas de animales en donde se utilizan abonos con alto contenido en nitrógeno.

La presencia de Nitritos en el agua indica la presencia de materia orgánica, es decir, de material fecal, puede darse por contaminación industrial o residual en las aguas de consumo doméstico y cuando se encuentran en cantidades elevadas van a reaccionar en nuestro cuerpo, formando nitrosaminas que son tóxicas y cancerígenas. <sup>(METCALF Y EEDY. 1998)</sup>

### **Fosfatos**

Los fosfatos no tienen gran impacto en la salud del hombre, sin embargo, la concentración de éstos en el agua va a causar eutrofización, es decir, el crecimiento excesivo de plantas, en este caso de algas; la consecuencia de esto es que cuando estas plantas se descomponen se produce una alta demanda de oxígeno, llevándose el que queda en el agua. Solamente se necesita un gramo de fosfato para que se produzcan alrededor de cien gramos de algas, por lo tanto esto representa un problema.

Cuando existen cantidades muy elevadas de fosfatos en el agua, si pueden causar efectos en la salud, según varios estudios, los fosfatos pueden producir problemas digestivos y la descalcificación en niños; además que existe el riesgo de muerte fetal y de malformaciones para las mujeres embarazadas que viven cerca de zonas donde se utiliza gran cantidad de pesticidas.

Antes no se tomaba en cuenta este parámetro para el caso de agua potable, pero ahora ya cuenta con parámetros debido a que, si bien no afecta en extremo a la salud humana, si es un parámetro que afecta las características organolépticas y también al momento de dar un tratamiento al agua debido al crecimiento de las algas. ([http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/ParametrosNutrientes.htm](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/ParametrosNutrientes.htm).

2015. Navarra.es)

## **Sodio**

El sodio se encuentra generalmente en la forma NaCl y como se sabe es una sal muy soluble y difícil de precipitar; suele producirse por la disolución de rocas de origen marino. La presencia de sodio en el agua es de gran importancia para el agua de riego, debido a que este elemento cuando se encuentra en cantidades elevadas puede impermeabilizar el terreno.

## **Potasio**

Las sales de potasio también son solubles y su precipitación resulta complicada. Suelen producirse por la meteorización de feldspatos o la solubilización de sales como la silvina o la carnalita. Es menos común que el sodio en las aguas subterráneas.

## **Hierro**

En las aguas subterráneas se encuentran en más cantidad que en las superficiales por el pH bajo y la poca cantidad de oxígeno disuelto; generalmente está como  $\text{Fe}^{+2}$ , aunque esto depende de la función del pH.

La presencia de hierro puede representar un problema para las aguas industriales o urbanas porque causa incrustaciones en las tuberías. Además de esto, las aguas con alto contenido en hierro tendrán un color rojizo o café que afecta a las características organolépticas del agua.

## **Metales tóxicos**

Entre los metales tóxicos que se pueden encontrar en el agua están: Plomo, Mercurio, Cadmio, Bario y Selenio. Todos estos deben ser controlados de manera inmediata debido a la toxicidad que tienen sobre el ser humano, a pesar de que es muy raro que se encuentren en el agua, han existido casos de envenenamiento, aparición de tumores, enfermedades en órganos vitales, etc. por varios de estos elementos.

## **Sólidos Disueltos Totales**

Esta medida representa las sales inorgánicas y la materia orgánica que se encuentran disueltas en el agua. Entre las sales inorgánicas tenemos las de magnesio, calcio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos, etc.

Los SDT van a corresponder a la suma de los Sólidos Disueltos y los Sólidos en Suspensión, estos últimos son sólidos sedimentables que no se disuelven en el agua pero se encuentran presentes en ella. Las aguas superficiales suelen tener mayor cantidad de sólidos en suspensión que las aguas subterráneas, debido a que estas se encuentran a la intemperie.<sup>(</sup>

<http://www.cebra.com.uy/presponsable/adjuntos/2012/11/Manual-de-agua-subterranea-bajo.pdf>. 2012. Cebra)

### *1.1.4.1.1.3 Parámetros microbiológicos*

## **Coliformes fecales y Coliformes totales**

Se denomina Coliformes a un grupo de especies bacterianas que se utilizan para indicar contaminación en el agua y alimentos. Son el principal indicador microbiano en el agua para consumo humano, ya que son fáciles de analizar en el laboratorio. Los Coliformes totales se refieren a las bacterias Gram negativas que fermentan la lactosa a temperaturas de 35 a 37°C, formando ácido y gas carbónico en un día, estas pueden ser aerobias o anaerobias facultativas.

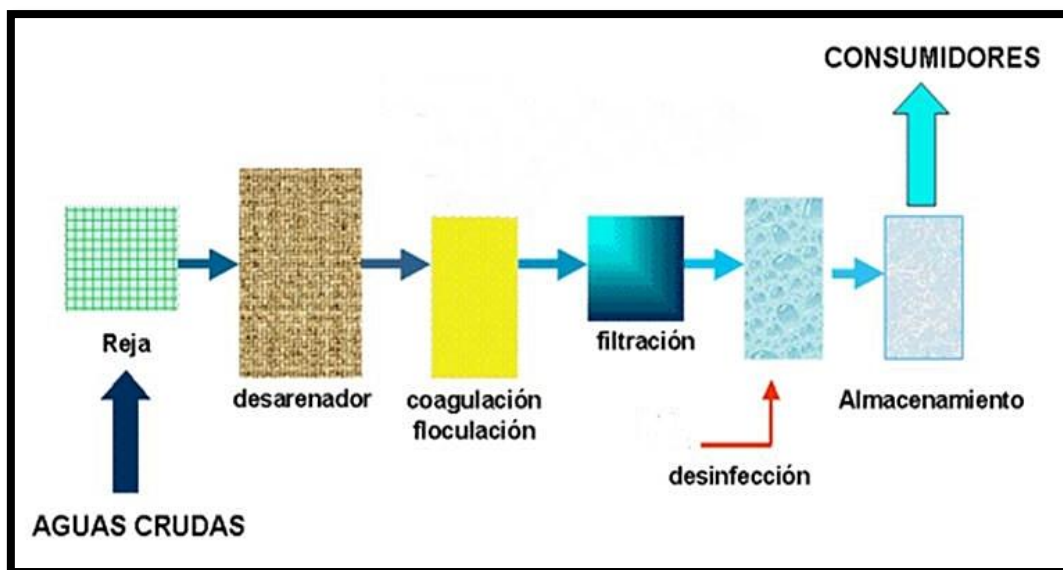
Los Coliformes fecales también son indicadores de contaminación en el agua, son un subgrupo de los totales, pero estos muestran una contaminación de origen fecal. Estas bacterias son termotolerantes, soportan temperaturas hasta de 45°C. Los más importantes son

- **Escherichia Coli:** Esta bacteria es el principal organismo anaerobio del sistema digestivo y puede causar enfermedades intestinales, insuficiencia renal, diarreas hemorrágicas, etc.
- **Bacilos y Clostridios:** Se desarrollan en colonias, pueden existir en gran cantidad y pueden sobrevivir en condiciones adversas. Existen numerosas variedades y pueden provocar enfermedades e intoxicaciones como por ejemplo: tétano, gangrena, botulismo, colitis, entre otras.

Este es uno de los parámetros más importantes a tratar en el agua debido a las consecuencias que tienen en la salud humana, las normas son claras con respecto a los parámetros que se deben cumplir y si una muestra presenta contaminación microbiológica no podrá ser destinada para consumo humano.<sup>(CARRILLO E. 2008, 5-8)</sup>

### 1.3 Planta de Potabilización de Agua

Una Planta de Potabilización de Agua es un conjunto de operaciones en las que se da un tratamiento a ésta con el fin de obtener un recurso que sea apto para el consumo humano y que cumpla con las normas dispuestas. Debe funcionar constantemente y tener un mantenimiento adecuado cada cierto tiempo, dependiendo del tamaño y diseño de la misma. De esta manera, según los requerimientos de cada caso, una planta generalmente puede contar con las siguientes etapas:



**Gráfico 1.1 Esquema Planta de Potabilización de Agua**

Fuente: PROSAM (Saneamiento Ambiental)

### **1.1.5 Captación**

Existen diferentes métodos de captar agua, los artesanales y los industriales como la excavación de túneles, por medio de pozos, etc. La captación de aguas subterráneas es un método alternativo cuando se agotan las fuentes superficiales, y una de las ventajas es que en las fuentes subterráneas la mayoría de las veces encontramos un agua de mejor calidad que en las superficiales al ser filtradas por las distintas capas de suelo por donde ingresan.

Existen diferentes técnicas, como la captación en manantiales, en galerías filtrantes y en zanjas drenantes, sin embargo, la más utilizada es la captación en pozos. Los pozos verticales son la forma más antigua y conocida para la captación de agua, ya sea mediante poleas o por medio de elementos mecánicos como bombas. Aquí es necesario primero realizar un estudio sobre la profundidad a la que se encuentra el agua, la calidad de esta, etc.

Existen de dos tipos: los pozos perforados que se caracterizan por ser estrechos y porque su perforación es totalmente mecánica; y los pozos excavados que se caracterizan por tener un gran diámetro y que su perforación no es completamente mecánica al ser suelos de poco espesor. <sup>(PEREZ. 2011, 2-53)</sup>

### **1.1.6 Muestreo**

La toma de muestras de aguas que provienen de fuentes subterráneas a veces resulta dificultosa debido al origen o a la manera de captación de estas. Es necesario que la muestra que se toma sea representativa de toda el agua en el pozo, acuífero o manantial; de esta manera, la muestra deberá ser directa y no de agua que se encuentre acumulada o almacenada en el mismo lugar durante algún tiempo.

Es recomendable realizar varios muestreos con el fin de sacar una media al final y tener mejores resultados, de la misma manera hay que realizar correctamente los procedimientos para que no se afecten los resultados al momento de realizar los análisis en el laboratorio. Es muy importante, antes de ir al campo a tomar una muestra, tomar en cuenta varias indicaciones que ayudarán a tener éxito en esta operación:

- Llevar todos los dispositivos que se van a necesitar para realizar análisis in-situ, como son: conductímetros, termómetros, medidor de pH, etc.



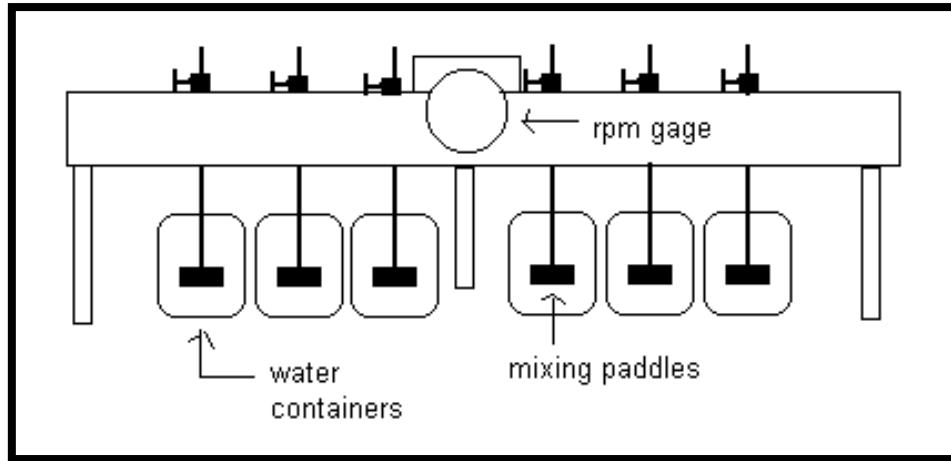
- Llevar los materiales de higiene necesarios para la toma de muestra, como guantes, gafas, etc.
- Llevar limpios y esterilizados los recipientes que se van a utilizar para colocar las muestras.
- Preferiblemente, se debe poder tomar la muestra directamente de la fuente, ya que si se utiliza tuberías o baldes puede contaminarse la muestra, y esta debe ser representativa de toda la cantidad de agua que se tiene, evitando cambio de presiones, turbulencias, etc.
- Los medios de muestreo deben ser escogidos de tal manera que soporten el peso, que no se corroan y que su transporte sea manejable.
- Se debe etiquetar las muestras con datos como: nombre de la persona o la institución, origen de la muestra, fecha y hora del muestreo, localización, etc.<sup>(INECC-CCA. 2010. 11-16)</sup>

#### **1.1.7 Pruebas de Jarras**

La prueba de jarras es un proceso experimental utilizado en el laboratorio que consiste en una prueba a escala de un diseño a realizarse a nivel industrial, con el fin de comprobar mediante los resultados obtenidos, que ese es el proceso que debe utilizarse al momento de la adaptación a gran escala.

La prueba de jarras es una herramienta que nos ayuda a diseñar una Planta de Agua ya sea Potable o Residual, es un simulador de las operaciones de una planta y nos permite determinar la cantidad que se va a necesitar de químico para separar los compuestos o sustancias que causen que los parámetros se encuentren fuera de norma y de esta manera encontrar después de varias pruebas la dosis necesaria para cada caso.<sup>(<http://www.r-chemical.com/>. 2015. QUIJANDRÍA S.)</sup>

Existe un equipo en el laboratorio llamado prueba de jarras, que consiste en varios recipientes colocados uno a continuación de otros, que cuentan con un agitador cada uno y un medidor de velocidad en la parte superior con el que se controla la velocidad en RPM y el tiempo.



**Gráfico 1.2 Esquema Equipo de Prueba de Jarras**

Fuente: UNAD (Universidad Nacional Abierta y a Distancia)

El procedimiento de una prueba de jarras suele ser el siguiente:

- Tomar la cantidad necesaria de muestra con el fin de poder llenar todos los recipientes con el mismo volumen y en una cantidad considerable, normalmente se utilizan recipientes de 500ml o 1000ml.
- Se debe añadir el químico a cada uno de los recipientes en concentraciones diferentes y encender el equipo a 100 RPM durante 1 minuto con el fin de mezclar bien el coagulante. Posteriormente se baja la velocidad a 30 RPM y se deja agitar durante 10 minutos más para que se puedan formar flóculos.
- Pasado este tiempo se apaga el equipo y se dejan reposar los recipientes durante aproximadamente 45 minutos, hasta constatar visualmente que se ha dado la floculación.
- Se toman muestras de cada uno de los recipientes para poder realizar las pruebas correspondientes para cada parámetro que se necesite comparar, principalmente el pH, color, turbidez y aquellos que se encuentren fuera de norma.
- Por último, después de realizar estas pruebas con varias muestras y con varias dosificaciones de coagulante, se escogerá aquel que haya dado los mejores resultados de acuerdo al tiempo de floculación, la utilización de químico y el que sea más óptimo para la construcción de una Planta de Tratamiento de Agua.

### 1.1.8 Filtración

La filtración es un proceso en el cual el agua pase por un medio poroso, que generalmente es arena y mediante este medio, poder mejorar su calidad y controlar los parámetros que se encuentren fuera de rango.

Generalmente se piensa que este es una etapa que sirve como tamiz, pero en la filtración se dan varias acciones físicas, químicas y biológicas que ayudan a la adsorción de sustancias o compuestos y a la disminución de parámetros fuera de rango como la turbiedad, el pH, entre otros, dependiendo del medio filtrante. Existen dos tipos principales de filtros:

- **Filtros Rápidos:** Un filtro rápido consiste en pasar el agua desde un tanque que contiene una capa de medio filtrante menos espesa que en los filtros lentos pero el diámetro de los granos son mayores; debajo se encuentra un sistema de desagüe que ayuda a soportar el material filtrante y a una buena recolección del agua filtrada, estos filtros pueden construirse a cielo abierto y hacer que el agua baje por gravedad o puede ser un tanque a presión. La velocidad de filtración es mayor en estos filtros que en los lentos debido al tamaño del material filtrante y al espesor de la capa de éste. (ARBOLEDA. 1972. 229-231)
- **Filtros Lentos:** Un filtro lento va a consistir en un tanque impermeable a cielo abierto, a través del cual se hará pasar agua por un medio filtrante que será de mayor espesor que de un filtro rápido, hasta un punto de salida. Estos filtros son muy eficientes cuando no se tiene una etapa previa de coagulación y va a permitir separa la mayor cantidad de sólidos que se encuentran en suspensión y también ayudará a la disminución de carga biológica en un 98%.

Los filtros lentos se utilizan para aguas que no tengan una turbiedad alta y velocidades menores a 12 m<sup>3</sup>/d, este es uno de los procesos más antiguos, efectivos y económicos para la construcción de plantas de tratamiento de agua potable. Siempre se debe construir un filtro extra con el fin de que cuando se realice el mantenimiento del primero, el otro pueda seguir funcionando. (WEBER. 2003. 170-177).

Algunas de las ventajas de los filtros lentos son: ser más eficiente que los filtros rápidos en la eliminación de bacterias, no es necesaria la utilización de compuestos químicos, el proceso de filtración se da por gravedad, no se necesitan dispositivos mecánicos, por lo

que es un método económico, el mantenimiento de éstos puede ser realizados por un solo operario, el manejo de los lodos que se producen no es complicado ya que la mayor parte es materia seca, la operación de estos filtros es simple y su construcción es más económica que los filtros rápidos, por lo que son ideales para comunidades de bajos recursos, no contamina otras fuentes de agua o algún medio ambiente, ya que no se utilizan químicos.

#### *1.1.8.1 Medios filtrantes*

Para la elección del medio filtrante ideal, se debe tomar en cuenta aquel que vaya a retener la mayor cantidad de sólidos suspendidos y pueda mejorar la calidad de agua que se va a tratar. Los granos de mayor diámetro nos van a dar un mayor tiempo de funcionamiento y tienen una limpieza más fácil, sin embargo, el efluente tendrá menor calidad que un medio filtrante de menor diámetro. Los medios filtrantes más utilizados son los siguientes:

- **Arena:** El medio más utilizado para la purificación y clarificación de agua en filtros rápidos es la arena, ayuda a la retención de flóculos pequeños en aguas turbias. La capa superior de arena hace el papel de filtro y la capa inferior sirve como soporte y es útil en el lavado a contracorriente.
- **Antracita:** La antracita es un carbón mineral de color negro y de gran dureza que funciona como un excelente medio filtrante para aguas turbias cuando se utiliza conjuntamente con otro medio como la arena.
- **Grava:** La grava es producto económico que resulta de la molienda del sílice de alta calidad y se utiliza generalmente como soporte de los lechos filtrantes en capas muy delgadas y para parar el canalamiento del agua. Su forma es esférica y es un material muy resistente y duradero
- **Carbón Activado:** El carbón activado tiene como característica principal el absorber compuestos orgánicos que pueden provocar algún tipo de olor, color, sabor o toxicidad en el agua de consumo humano, también ayuda a reducir el cloro libre.
- **Zeolita:** Es un mineral que tiene propiedades únicas y su mayor ventaja son su bajo costo y su gran durabilidad. La estabilidad y la microporosidad que tiene hacen de la zeolita el medio

filtrante ideal para cualquier aplicación industrial y en la potabilización del agua. También se ha comprobado que los filtros de zeolita tienen una mayor eficiencia y desempeño que la arena, la antracita, el carbón activado y los filtros mixtos de éstos.

Industrialmente, las zeolitas son muy útiles como catalizadores en reacciones con moléculas orgánicas, en la producción de fuel, en el refinamiento de hidrocarburos y en la industria petroquímica; también se utilizan en la industria para varias operaciones de absorción como separación, secado, purificación, etc., ya que son capaces de remover agua a presiones parciales muy bajas; y para intercambio iónico ya que dentro de los poros de la zeolita se encuentran cationes hidratados unidos débilmente y estos pueden intercambiarse con otros cationes cuando existe un medio acuoso, esta propiedad de la zeolita, hace que sea muy útil en procesos como ablandamiento de agua, en la formulación de detergentes y jabones donde se reemplazan los fosfatos como agentes ablandadores de agua. (<http://www.lenntech.es/zeolitas-aplicaciones.htm>. 2015).

#### *1.1.8.2 Consideraciones de Diseño del Filtro Lento de Zeolita*

Tomando en cuenta las ventajas anteriores sobre los filtros lentos, como su larga durabilidad, que el proceso se da por gravedad sin necesidad de medios mecánicos para su funcionamiento y que son más económicos al momento de su construcción.

Tenemos también las múltiples ventajas de la zeolita como un medio filtrante para la eliminación de la turbidez, pH, intercambio de cationes, disminución de la carga biológica en un gran porcentaje y que este material se utiliza en menor cantidad que otros debido a su estructura y a su porosidad, también tiene menor costo que la arena y una mayor durabilidad, si su mantenimiento se hace adecuadamente puede durar de 3 a 5 años.

#### ▪ **Número de Filtros**

De acuerdo a Merrill y Wallace, el número de filtros que se necesita, puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$n_f = 0,044\sqrt{Q} \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

$N_f$  = Número de filtros (adimensional)

$Q$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

#### ▪ Área del filtro

El área del filtro se calculará mediante la siguiente expresión:

$$A_f = \frac{Q}{\text{tasa de filtración}} \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde:

$A_f$  = Área del filtro ( $\text{m}^2$ )

$Q$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

En nuestro caso, la tasa de filtración de la Zeolita se encuentra entre 10 – 15 m/h.

#### ▪ Coeficiente de mínimo costo

El coeficiente de mínimo costo se define como la relación entre la longitud y el ancho del filtro y se representa con la siguiente ecuación:

$$k_c = \frac{L_f}{a_f} \quad \text{Ec. 1.3}$$

Donde:

$L_f$  = Longitud del filtro (m)

$a_f$  = Ancho del filtro (m)

Pero también puede calcularse con la siguiente expresión:

$$k_c = \frac{2n_f}{n_f+1} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

$K_c$  = Coeficiente de mínimo costo (adimensional)

$n_f$  = Número de filtros (adimensional)

- **Longitud del filtro**

La longitud del filtro se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L_f = \sqrt{A_f * k_c} \quad \text{Ec. 1.5}$$

Donde:

$L_f$  = Longitud del filtro (m)

$A_f$  = Área del filtro ( $\text{m}^2$ )

$K_c$  = Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

- **Ancho del filtro**

El ancho del filtro se determinará de la siguiente manera:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{k_c}} \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

$a_f$  = Ancho del filtro (m)

$A_f$  = Área del filtro ( $\text{m}^2$ )

$K_c$  = Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

- **Composición del lecho filtrante**

Los parámetros necesarios para el diseño de la composición del lecho filtrante para nuestro filtro lento de zeolita se encuentran especificados en la Tabla 1.1.

- **Altura del filtro**

Va a depender de la altura de la capa del agua, la altura del lecho filtrante, la altura de la capa de soporte y la altura del drenaje del sistema, además del factor de seguridad que generalmente es de 10%. Así, la siguiente ecuación nos permite calcular la altura del filtro:

$$Z_f = f_s(C_a + L_a + C_s + F_c) \quad \text{Ec. 1.7}$$

Donde:

$Z_f$  = Altura del filtro (m)

$f_s$  = Factor de seguridad (adimensional)

$C_a$  = Altura de la capa del agua sobre el lecho (m)

$L_a$  = Altura del lecho filtrante (m)

$C_s$  = Altura de la capa de soporte (m)

$F_c$  = Altura del drenaje del sistema (m)

## ▪ Sistema de Drenaje

El sistema de drenaje de un filtro lento cumple con el objetivo de dar una distribución uniforme del agua de lavado y de recoger el agua filtrada.

### - Área de los orificios laterales

El área de los orificios laterales se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Donde:

$A_o$  = Área de los orificios laterales ( $\text{cm}^2$ )

$D_o$  = Diámetro de los orificios laterales (m)

### - Caudal que ingresa a los orificios laterales

El caudal que ingresa a cada orificio está dado por la siguiente ecuación:

$$Q_o = A_o v_o \quad \text{Ec. 1.9}$$

Donde:

$Q_o$  = Caudal que ingresa a cada orificio lateral ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A_o$  = Área de cada orificio lateral ( $\text{m}^2$ )

$V_o$  = Velocidad en los orificios laterales (m/s)



- **Número de laterales**

La siguiente ecuación nos permitirá calcular el número de laterales:

$$N_L = n_L \frac{L_f}{e_L} \quad \text{Ec. 1.10}$$

Donde:

$N_L$  = Número de laterales (adimensional)

$n_L$  = Número de filtros (adimensional)

$L_f$  = Longitud del filtro (m)

$e_L$  = Separación entre los laterales (m)

▪ **Diámetro de la Tubería de entrada al filtro**

El diámetro de la tubería de entrada al filtro se diseña en base a criterios de velocidad mediante la siguiente ecuación:

$$D_T = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}} \quad \text{Ec. 1.11}$$

Donde:

$D_T$  = Diámetro de la tubería de entrada al filtro (m)

$Q$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$v_e$  = Velocidad del agua a través de la tubería de entrada (m/s)

▪ **Diámetro de la tubería de salida del filtro**

El diámetro de la tubería de salida del filtro también se calcula mediante criterios de velocidad con la siguiente ecuación:

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_s}} \quad \text{Ec. 1.12}$$

Donde:

$D_{Ts}$  = Diámetro de la tubería de salida al filtro (m)

$Q$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V_s$  = Velocidad del agua a través de la tubería de salida (m/s)

- **Sistema de lavado del filtro lento**

El lavado del filtro va a consistir en el ingreso de una cantidad suficiente de agua en contracorriente con el fin de hacerla pasar entre los granos del material filtrante, para que se froten unos contra otros y se limpien y de esta manera mantener la calidad y la eficiencia del filtro.

Cuando se realiza el lavado del filtro, se debe utilizar un caudal de agua suficiente para que los granos al final queden en suspensión y los depósitos de mugre formados sobre ellos puedan descargarse por el desagüe.

- **Velocidad óptima de lavado del filtro**

Mediante la siguiente ecuación se calcula la velocidad óptima de lavado:

$$v_1 = D_{60} = CU * TE \quad \text{Ec. 1.13}$$

Donde:

$v_1$  = Velocidad óptima de lavado del filtro

$D_{60}$  = Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad (mm)

$CU$  = Coeficiente de uniformidad de la zeolita (adimensional)

$TE$  = Tamaño efectivo de la zeolita (mm)

- **Cantidad de agua para el lavado del filtro**

Podemos calcular el volumen de agua necesaria para el lavado del filtro mediante la siguiente expresión:

$$V_L = v_1 * A_f * t_L \quad \text{Ec. 1.14}$$

Donde:

$V_L$  = Volumen de agua necesaria para el lavado del filtro ( $m^3$ )

$v_1$  = Velocidad óptima del lavado del filtro (m/min)

$A_f$  = Área del filtro ( $m^2$ )

$t_L$  = Tiempo óptimo de lavado (min)

**Tabla 1.1: Parámetros de Diseño para Filtros Lentos**

PARÁMETRO	VALOR
Tasa de filtración	10 - 15 m/h
Medio Filtrante	Zeolita
Altura del agua sobre el lecho	1 – 1,5 m
Profundidad del medio	0,6 – 1 m
Profundidad de grava	0,3 m
Tamaño efectivo del medio	0,15 - 0,45 mm
Coefficiente de uniformidad	1,5 – 4
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje	0,4 – 0,7 m
Tiempo de lavado	5 – 15 min

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

**Tabla 1.2 Parámetros de Diseño de Laterales**

PARÁMETRO	VALOR
Espaciamiento de los laterales	1,5 – 2,0 m
Diámetro de los orificios de los laterales	2 – 4 mm
Espaciamiento de los orificios de los laterales	10 – 30 cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3,5 cm
Velocidad en los orificios	0,3 m/s

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

**Tabla 1.3 Parámetros de Diseño para las velocidades en las tuberías del filtro**

PARÁMETRO	VELOCIDAD
Afluente	0,15 – 3 m/s
Efluente	0,4 – 9 m/s

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

**Tabla 1.4 Propiedades del Medio filtrante**

ZEOLITA	VALOR
Tamaño efectivo	0.15 - 0.45 mm
Coefficiente de uniformidad CU	1.50 - 4.0

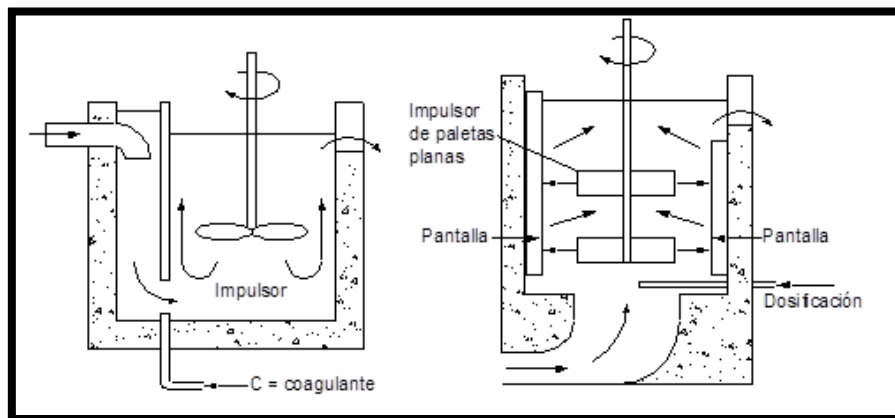
Fuente: BVSDE (Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental)

### 1.1.9 Mezcla rápida

Este es un proceso muy utilizado con el fin de que los químicos se mezclen de la mejor manera con el agua. La agitación que tenga la masa de agua mientras se adiciona el químico, va a darnos una correcta coagulación, ya que si existen turbulencias diferentes, vamos a tener ciertas partes con mayor cantidad de químico que en otras y esto afectará los resultados en los análisis físico-químicos. Esta etapa se caracteriza por ser enérgica y que es hecha en corto tiempo. Su objetivo principal será el de dispersar toda la cantidad de químico o coagulante en toda la cantidad de agua que se tenga para que se dé una floculación exitosa.

Existen distintos tipos de unidades que son utilizados para este proceso, entre ellos están:

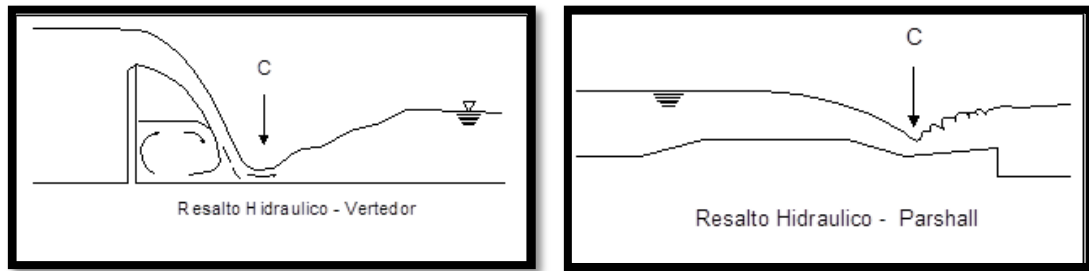
- **Mezcladores mecánicos:** Retromezcladores, como por ejemplo los agitadores.



**Gráfico 1.3 Agitadores Mecánicos**

Fuente: UNAD (Universidad Nacional Abierta y a Distancia)

- **Mezcladores hidráulicos:** Aquí tendremos los de resalto hidráulico, como el Canal de Parshall, Vertedero triangular y Vertedero rectangular, y los que son en línea: Difusores como tuberías y canales, inyectores, entre otros.

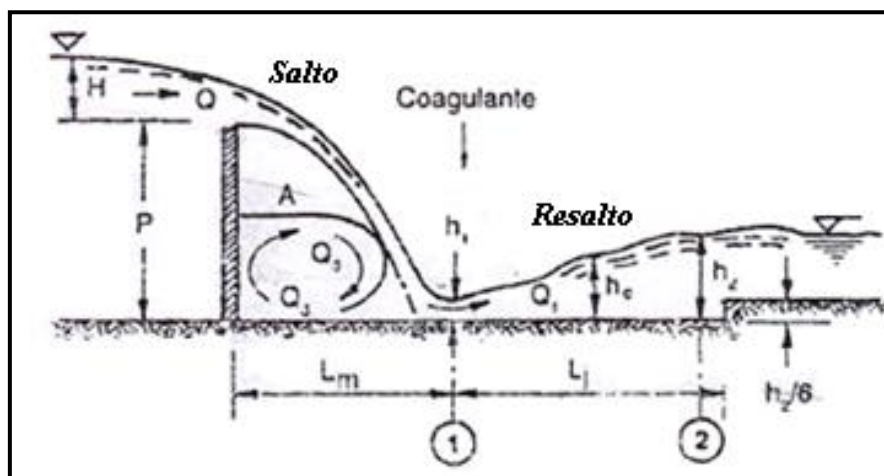


**Gráfico 1.4 Mezcladores Hidráulicos**  
Fuente: UNAD (Universidad Nacional Abierta y a Distancia)

#### 1.1.9.1 Consideraciones de Diseño de Mezcla Rápida en Vertedero Rectangular

En los Vertederos Hidráulicos la mezcla del agua con el coagulante se logra gracias a la turbulencia que es generada por un resalto hidráulico, sin embargo, tienen como desventaja que no son flexibles cuando existe cambio de caudal, por ello son utilizados sólo para mezcla rápida. Estos vertederos pueden utilizarse cuando se tiene suficiente cabeza de caudal o suficiente energía en el flujo.

En nuestro caso se utilizará un mezclador hidráulico en vertedero rectangular, ya que es uno de los más simples de acuerdo a su construcción, debido a su bajo costo y porque tienen una buena eficiencia en mezcla rápida. Las estructuras que van a ser parte del vertedero deben ser rígidas, no puede existir ningún tipo de fuga y deben poder soportar la sobrecarga de agua si hay un crecimiento del caudal como en épocas de invierno. (ROMERO, 2006. 53-74)



**Gráfico 1.5 Resalto en un Vertedero Rectangular**  
Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

- **Canal del Vertedero**

La profundidad en el canal del vertedero se calculará mediante la ecuación:

$$C_v = f_s * H \quad \text{Ec. 1.15}$$

Donde:

$C_v$  = profundidad del canal del vertedero (m)

$f_s$  = Factor de seguridad (adimensional)

H = Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua (m)

- **Ancho del Vertedero**

El ancho del vertedero se calculará mediante esta ecuación que es usada para determinar el caudal de un vertedero rectangular sin contracciones laterales y en caída libre.

$$Q = 1,84BH^{\frac{3}{2}} \quad \text{Ec. 1.16}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

B = Ancho del vertedero (m)

H = Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua (m)

- **Caudal por unidad de ancho**

El caudal por unidad de ancho del vertedero se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$q = \frac{Q}{B} \quad \text{Ec. 1.17}$$

Donde:

Q = Caudal por unidad de ancho ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Q = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

B = Ancho del vertedero (m)

### ▪ **Profundidad crítica de flujo**

La profundidad crítica de flujo es aquella en la que un determinado caudal pasa por un canal con el mínimo de energía específica. Así, la profundidad crítica de flujo se calcula con la ecuación:

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. 1.18}$$

Donde:

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo (m)

$q$  = Caudal por unidad de ancho ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

### ▪ **Longitud del salto**

La longitud del salto se define como la distancia a la cual debe dosificarse el químico o coagulante para asegurar una mezcla homogénea y continua del coagulante en todo el volumen de agua que se tenga. Existen ciertas consideraciones al momento de diseñar un vertedero rectangular:

- La relación entre  $P/h_c$  debe ser lo menor posible con el fin de reducir la pérdida de energía en la caída libre de la lámina vertedora.
- Para que exista una correcta dispersión y obtener una mezcla homogénea, el químico debe añadirse sobre una distancia  $L_m$ , no es recomendable que se añada a una distancia menor ya que habrán parte de la mezcla con mayor cantidad de coagulante que otras.

Tomando en cuenta lo anterior, la siguiente ecuación nos permite el cálculo de la longitud del salto en vertederos rectangulares de pared gruesa:

$$L_m = 4,3P^{0,1}h_c^{0,9} \quad \text{Ec. 1.19}$$

Donde:

$L_m$  = Longitud del salto (m)

$P$  = Altura de la pared del vertedero (m)

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo (m)

- **Profundidad supercrítica o altura del agua después del salto**

Cuando la profundidad del flujo es menor que la profundidad crítica, la velocidad va a ser mayor que la velocidad crítica, y el flujo se llamará supercrítico, o flujo rápido. Cuando existe resalto, la profundidad del agua estará relacionada con la profundidad crítica, por la siguiente ecuación de White:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} h_c \quad \text{Ec. 1.20}$$

Donde:

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

$P$  = Altura de la pared del vertedero (m)

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo (m)

- **Velocidad del agua en el salto**

La velocidad del agua en el salto se determinará mediante la ecuación:

$$v_1 = \frac{q}{h_1} \quad \text{Ec. 1.21}$$

Donde:

$v_1$  = Velocidad del agua en el salto (m/s)

$q$  = Caudal por unidad de ancho ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

- **Número de Froude**

Este es un número adimensional que en canales abiertos nos da a conocer sobre el estado del flujo hidráulico, el nombre que lleva es en honor al ingeniero inglés William Froude.

Cuando el número de Froude esté comprendido entre 4,5 y 9,0, quiere decir que existe un resalto estable y una mezcla eficiente. La ecuación para su cálculo es la siguiente:

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}} \quad \text{Ec. 1.22}$$



Donde:

$F$  = Número de Froude (adimensional)

$v_1$  = Velocidad del agua en el salto (m/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

#### ▪ **Profundidad subcrítica o altura del agua después del resalto**

Cuando la profundidad del flujo es mayor que la profundidad crítica, la velocidad va a ser menor que la velocidad crítica, y el flujo se llamará subcrítico, o flujo lento. La profundidad subcrítica se calculará con la siguiente ecuación:

$$h_2 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8F^2} - 1)h_1 \quad \text{Ec. 1.23}$$

Donde:

$h_2$  = Profundidad subcrítica (m)

$F$  = Número de Froude (adimensional)

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

#### ▪ **Velocidad del agua en el resalto**

La velocidad del agua en el resalto se determinará gracias a la ecuación:

$$v_2 = \frac{q}{h_2} \quad \text{Ec. 1.24}$$

Donde:

$v_2$  = Velocidad del agua en el resalto (m/s)

$q$  = Caudal por unidad de ancho ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$h_2$  = Profundidad subcrítica (m)

- **Pérdida de energía en el resalto**

Cuando un flujo que se encuentra a régimen supercrítico se encuentra con una corriente subcrítica, se va a dar un choque, y debido a éste, va a haber una fuerte turbulencia en el salto hidráulico que ocasiona pérdidas de energía.

La pérdida de energía en el resalto, se va a determinar con la siguiente ecuación llamada fórmula de Belanger:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 h_2} \quad \text{Ec. 1.25}$$

Donde:

$h$  = Pérdida de energía en el resalto (m)

$h_2$  = Profundidad subcrítica (m)

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

- **Longitud del resalto**

La longitud del resalto, cuando se tiene un resalto estable, se determina mediante la fórmula de Smetana:

$$L_j = 6(h_2 - h_1) \quad \text{Ec. 1.26}$$

Donde:

$L_j$  = Longitud del resalto (m)

$h_2$  = Profundidad subcrítica (m)

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

- **Velocidad media en el resalto**

La velocidad media en el resalto se calculará con la ecuación:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{Ec. 1.27}$$

Donde:

$v_m$  = Velocidad media en el resalto (m/s)

$v_1$  = Velocidad del agua en el salto (m/s)

$v_2$  = Velocidad del agua en el resalto (m/s)

### ▪ Tiempo de mezcla

El tiempo de mezcla o tiempo de retención es aquel en el cual el agua cruda va a encontrarse en contacto con el químico. Este tiempo se determina con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{L_j}{v_m} \quad \text{Ec. 1.28}$$

Donde:

T = Tiempo de mezcla o retención (s)

$L_j$  = Longitud del resalto (m)

$v_m$  = Velocidad media en el resalto (m/s)

### ▪ Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad es ampliamente aceptado como un medio para calcular los requerimientos energéticos de mezcla. Este gradiente se calcula mediante la ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}} \quad \text{Ec. 1.29}$$

Donde:

G = Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )

$\gamma$  = Peso específico del agua ( $N/m^3$ )

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua (Pa.s)

t = Tiempo de mezcla o retención (s) <sup>(ROMERO. 2006. 53-74)</sup>

**Tabla 1.5 Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera de Presión**

Temperatura °C	Densidad $\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	Peso específico $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Viscosidad dinámica $\mu$ 10 <sup>3</sup> Pa.s
15	999,103	9,798	1,139
17	998,778	9,795	1,081
18	998,599	9,793	1,053
19	998,408	9,791	1,027
20	998,207	9,789	1,002

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

### ***1.1.10 Coagulación***

La coagulación que sucede en el momento de la mezcla rápida, es un procedimiento que se utiliza con el fin de causar la agregación de material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua, proceso mediante el cual se reducen las fuerzas repelentes que están entre las partículas coloidales con el fin de formar partículas de mayor tamaño que den una buena sedimentación.

Consiste en añadir sustancias químicas al agua, dar una dispersión uniforme para que exista la formación de un floc que sea fácilmente sedimentable. La coagulación va a preparar el agua para el proceso de sedimentación y su objetivo principal es agregar y unir las sustancias coloidales presentes en ésta, para poder remover los parámetros que afecten la calidad del agua.

#### ***1.1.10.1 Coagulantes***

Son aquellos compuestos de hierro o de aluminio que pueden formar un floc y pueden permitir una coagulación cuando son añadidos al agua. Los coagulantes más utilizados en el tratamiento de agua potable son:

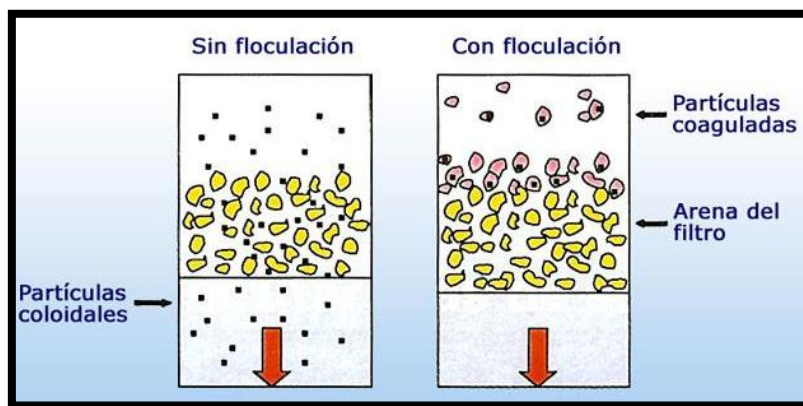
- **Sulfato de Aluminio:** Es el coagulante estándar utilizado en el tratamiento de aguas, este producto viene en diferentes presentaciones: en polvo, granulado o líquido. Tiene ciertas ventajas sobre otros coagulantes, como su bajo costo, la disponibilidad de éste en el mercado, su fácil utilización, la baja producción de lodos, entre otras.
- **Cal:** La cal es un producto resultante de la calcinación de la piedra caliza, se encuentra formado por óxidos de calcio y magnesio. Es un polvo seco obtenido del tratamiento de la cal viva con suficiente agua para satisfacer su afinidad química por el agua.
- **Policloruro de Aluminio:** Es un coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas, generalmente es usado para la remoción de color y material coloidal en sistemas de tratamiento de agua potable o residual, también en la clarificación de efluentes industriales como reemplazo de coagulantes como el Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y otros coagulantes no polimerizados, al ser más efectivo que éstos.

El Policloruro de Aluminio permite la remoción de sólidos suspendidos, turbidez, color y otros contaminantes orgánicos e inorgánicos. Este coagulante desestabiliza los microorganismos y las partículas coloidales, haciendo que éstas se unan formando coágulos que se aglomeran y conformando flóculos de mayor tamaño que precipitan por gravedad. La presentación de este producto puede ser en forma de polvo, granulado o líquido y su fórmula comercial es  $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ . Las ventajas de este coagulante frente a otros, son las siguientes: se da una mayor formación de flocs, tiene una mayor velocidad de sedimentación, requiere un menor tiempo de mezcla para la floculación, no modifica considerablemente el pH, es de fácil aplicación, se requiere una menor dosificación, tiene un menor costo que los demás coagulantes. (ROMERO. 2009. 233-245).

### 1.1.11 Floculación

La Floculación se considera la segunda etapa del proceso de coagulación y se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas. Es un proceso en el que una vez que ya están desestabilizados los coloides, se va a tener una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de colisiones entre ellas sin romper los agregados formados anteriormente.

Al igual que la coagulación, la floculación está influenciada por fuerzas físicas y químicas como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio iónico, el tamaño de las partículas, la formación del floc, etc. Una vez que se ha añadido el coagulante, las partículas coaguladas se ponen en contacto unas con otras y es ahí donde se produce la floculación, durante la cual, éstas partículas se aglomeran, incrementando su tamaño y adquiriendo una mayor densidad. (ROMERO. 2006. 81 - 85).



**Gráfico 1.6 Principio de Floculación**  
Fuente: ASSUR PISCINAS

### **1.1.12 Sedimentación**

La Sedimentación es una operación unitaria que se trata de la separación sólido-líquido, mediante la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante a fuerza de gravedad. En casos donde no existen fuerzas de interacción entre las partículas, la sedimentación natural no es posible y se debe recurrir a procesos de coagulación y floculación.

Se separan partículas sólidas que se encuentran dispersas en un fluido, mediante la diferencia de densidades haciendo que las partículas sólidas sedimenten hacia el fondo en donde son eliminadas del sistema en forma de lodos.

De esta manera, vamos a tener cuatro tipos de sedimentación de acuerdo a las partículas:

- **Sedimentación Tipo 1:** En este caso tendremos la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida. Aquí, la sedimentación se la llama no interferida y es función solamente de las propiedades del fluido y de las características de las partículas. Este tipo de sedimentación ocurre con partículas de características floculantes mínimas, como por ejemplo, los materiales pesados inertes.
- **Sedimentación Tipo 2:** En este caso vamos a tener la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, donde se debe considerar las propiedades floculentas de la suspensión y las características de asentamiento de las partículas. Esto se da en el tratamiento de agua potable cuando antes de la etapa de sedimentación existe la de coagulación y floculación.
- **Sedimentación Zonal:** Se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento, donde hay un asentamiento interferido debido a la cercanía entre las partículas, que gracias a la fuerza entre ellas se forma una matriz porosa soportada por el fluido que desplazan, y como consecuencia, esta masa se mueve hacia el fondo en un solo bloque, ocasionando una interfase de separación entre el lodo y el sobrenadante clarificado.
- **Compresión:** Se produce cuando la concentración aumenta hasta que las partículas se encuentran unas con otras y el peso de éstas lo sostiene la masa compactada. Este caso se va a dar en procedimientos de espesamiento de lodos cuando las partículas se acumulan en el fondo del sedimentador.

En la práctica, es muy posible que durante el proceso se presente más de un tipo de sedimentación al mismo tiempo y en raros casos pueden darse los cuatro al mismo tiempo.<sup>(ROMERO. 2006. 141-143)</sup>

#### *1.1.12.1 Consideraciones de Diseño del Sedimentador Rectangular*

Este tipo de tanques se utilizan para la remoción de sólidos suspendidos y la sedimentación de flóculos formados en el proceso de coagulación y floculación. Consiste en disminuir la velocidad de flujo del agua, para que así se dé la separación de sólido-líquido por densidades y por la fuerza de gravedad.

En los Sedimentadores Rectangulares se va a tener un flujo horizontal y va a ser un tanque que cuente con un sistema de recolección de lodos en la parte inferior. Los sedimentadores rectangulares son más utilizados a nivel práctico, debido a que tienen una mayor eficiencia que los circulares y los cuadrados que tienen una alimentación periférica.

##### ▪ **Carga de Superficie**

La Carga Superficial se encuentra en función del tipo de sedimentación y del tiempo de retención sobre la eliminación de los sólidos suspendidos y de su concentración. Se puede calcular el área del sedimentador despejando de la siguiente ecuación:

$$CS = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 1.30}$$

Entonces:

$$A = \frac{Q}{CS} \quad \text{Ec. 1.31}$$

Donde:

A = Área del sedimentador (m<sup>2</sup>)

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día)

CS = Carga Superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día)

**Tabla 1.6 Información para el Diseño de Sedimentadores Rectangulares**

CARACTERÍSTICAS	INTERVALO	TÍPICO
<b>Sedimentación Primaria</b>		
Tiempo de Retención, h	1,5 – 2,5	2
<b>Carga de Superficie, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día</b>		
A caudal medio	30 - 50	40
A caudal de punta	80 - 120	100
Carga sobre vertedero, m <sup>3</sup> /m*día	1250- 500	250

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996

#### ▪ Cálculo del ancho del sedimentador

Si se supone una relación de largo/ancho de 2:1, tendremos que:

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad \text{Ec. 1.32}$$

Donde:

a = Ancho del sedimentador (m)

A = Área del sedimentador (m<sup>2</sup>)

#### ▪ Cálculo del largo del sedimentador

De acuerdo a lo anterior, el cálculo del ancho del sedimentador viene dado por la ecuación:

$$l = 2 * a \quad \text{Ec. 1.33}$$

Donde:

l = Largo del sedimentador (m)

a = Ancho del sedimentador (m)

#### ▪ Volumen del Sedimentador

El volumen del sedimentador como sabemos, va a expresar las tres dimensiones del tanque, por lo tanto se calculará mediante la ecuación:



$$V = l * a * h \quad \text{Ec. 1.34}$$

Donde:

V = Volumen del sedimentador (m<sup>3</sup>)

l = Largo del sedimentador (m)

a = Ancho del sedimentador (m)

h = Profundidad del sedimentador (m)

#### ▪ **Tiempo de retención hidráulico**

Generalmente este tipo de tanques debe tener un tiempo de retención de 1,5 a 2,5 horas para un caudal medio. Por lo tanto, el cálculo del tiempo de retención hidráulico viene dado por la ecuación:

$$T_{rh} = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 1.35}$$

Donde:

Trh = Tiempo de residencia hidráulico (h)

V = Volumen del sedimentador (m<sup>3</sup>)

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)

#### ▪ **Velocidad de arrastre**

La velocidad de arrastre es importante en el proceso de sedimentación, ya que las fuerzas que actúan sobre las partículas sedimentadas son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. Las velocidades horizontales se deben mantener bajas con el fin de que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque. Por lo tanto, podemos calcular la velocidad de arrastre a partir de la siguiente ecuación:

$$V_H = \frac{8K(s-1)gd}{f} \quad \text{Ec. 1.36}$$

Donde:

V<sub>H</sub> = Velocidad de arrastre (m/s)

K = Constante del tipo de material arrastrado (0,05) (adimensional)

s = Peso específico de las partículas (1,25)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$d$  = Diámetro de las partículas ( $\mu m$ )

$f$  = Factor de fricción del concreto (adimensional) (0,025)

#### ▪ **Velocidad horizontal**

La velocidad de arrastre se compara con la velocidad horizontal que se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$V_h = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 1.37}$$

Donde:

$V_h$  = Velocidad horizontal ( $m/s$ )

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$A$  = Área del sedimentador ( $m^2$ )

#### **1.1.13 Desinfección**

Generalmente, la etapa de desinfección es la última en las Pantas de Potabilización, aquí es donde se va a eliminar la carga microbiana, es decir, todos los microorganismos patógenos que pueden ser perjudiciales para la salud del ser humano. No se puede dotar de este recurso a una población si no se realiza una desinfección primero, ya que podría ser causante de enfermedades como disentería, fiebre tifoidea, hepatitis, amibiosis, enfermedades gastrointestinales, entre otras.

Es conocido que el agua es uno de los principales transportes de microorganismos que son causantes de enfermedades, los que generalmente provienen de las heces fecales de animales o del mismo ser humano que son depositados en acequias, cauces de ríos, etc. Los coliformes fecales son un gran grupo de microorganismos, que actualmente son fácilmente identificables mediante análisis en el laboratorio. La presencia de coliformes en una muestra de agua, no siempre va a representar microorganismos patógenos, pero nos da una alerta de que se debe controlar ese parámetro.

Entre los principales tratamientos de desinfección para el agua se encuentran los siguientes:

- **Tratamiento Físico:** Este tratamiento consiste en eliminar los patógenos del agua mediante la remoción de sólidos en suspensión, con procedimientos como la aireación, filtración, decantación, coagulación floculación, sedimentación, etc. otro de os métodos físicos.

- **Tratamiento Químico:** Este tratamiento consiste en la eliminación de patógenos mediante la utilización del cloro y sus derivados, El Hipoclorito de Sodio: es el producto más utilizado en la industria para la desinfección del agua y para la purificación de superficies por sus propiedades oxidantes que lo hacen un buen fungicida y bactericida. Las ventajas de éste son: la oxidación de sustancias inorgánicas como hierro, nitritos, etc., que causan un mal sabor al agua y la corrosión en las plantas potabilizadoras; su acción como microbicida, alguicida, bactericida y en ciertos casos virucida; y favorece la formación de flóculos en las etapas de coagulación-floculación; Química Acuosa del Cloro: Se puede utilizar en Plantas de Potabilización mediante dos técnicas: la aplicación directa con difusores y saturación de una parte de caudal de agua con cloro, y la mezcla posterior de ésta con el caudal principal; Ozono: Tiene un gran poder desinfectante en el agua, mejorando sus características organolépticas notablemente, ya que puede reaccionar con sustancias orgánicas e inorgánicas. (FORMASELECT. 2007. 32-40).

#### 1.1.13.1 Criterios de Diseño de la Desinfección

##### ▪ **Peso de cloro necesario**

El peso de cloro que se necesitará para tratar el agua se calcula mediante la ecuación:

$$P_{Cl} = \frac{Q \cdot D \cdot T}{1000} \quad \text{Ec. 1.38}$$

Donde:

$P_{Cl}$  = Peso de cloro necesario (Kg/d)

Q = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

D = Dosis de cloro necesario (mg/L)

T = Período de almacenamiento de la solución (s)

##### ▪ **Volumen del hipoclorador**

El volumen del hipoclorador se calculará mediante la ecuación:

$$V_H = \frac{P_{Cl}}{5 \cdot C} \quad \text{Ec. 1.39}$$

Donde:

$V_H$  = Volumen del hipoclorador ( $m^3$ )

C = Concentración de la solución (%)

#### ▪ Tanque de contacto para la mezcla de cloro

Se debe diseñar un tanque de contacto del agua con el cloro, que también servirá como tanque de almacenamiento, cuya capacidad se calculará con la siguiente ecuación:

$$V_{Tc} = Q * t * f_s \quad \text{Ec. 1.40}$$

Donde:

$V_{Tc}$  = Volumen del tanque para la mezcla de cloro ( $m^3$ )

Q = Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

t = Tiempo de retención (s)

$f_s$  = Factor de seguridad (adimensional)

#### ▪ Altura del tanque para la mezcla de cloro

El cálculo de la altura del tanque para la mezcla de cloro vendrá dado por la ecuación:

$$H_{Tc} = \frac{V_T}{A_{Tc}} \quad \text{Ec. 1.41}$$

Donde:

$H_{Tc}$  = Altura del tanque para la mezcla de cloro (m)

$A_{Tc}$  = Área del tanque para la mezcla de cloro ( $m^2$ )

**Tabla 1.7 Demanda de Cloro para Aguas**

Aguas Claras	0,3 mg/L
Aguas Turbias	1,5 mg/L

Fuente: Muñoz M. Balarezo A.

## **CAPÍTULO II**

### **2. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **2.1 Diagnóstico**

El agua con la que cuenta la comunidad de Nitiluisa proviene de una vertiente subterránea que se encuentra aproximadamente a 1 kilómetro de la población a la que es repartida. El agua que consume la gente de esta comunidad no cuenta con ningún tipo de tratamiento, simplemente tienen un pequeño tanque de recepción construido hace ya muchos años y por medio de dos tuberías se dirige hacia los tanques que distribuyen el agua a los tres barrios que son: Central, Corona Real y Rumipamba.

Se realizó la caracterización físico-química y microbiológica de varias muestras de agua en distintas épocas del año, para de esta manera encontrar los parámetros que se encuentran fuera de norma, se tomará como referencia la NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable, Requisitos” y de acuerdo a los resultados de la caracterización buscar el tratamiento adecuado para este caso.

Pudimos constatar después de la caracterización que el agua es casi de buena calidad, sin embargo, los fosfatos y nitritos se encuentran sobre los límites permisibles, teniendo que los fosfatos causan eutrofización en el medio, es decir, el crecimiento excesivo de plantas y algas, además pueden ocasionar problemas futuros en la salud de los habitantes como enfermedades digestivas, descalcificación en los niños, etc.; mientras que los nitritos indican la presencia de materia orgánica en el agua, siendo tóxico para nuestro organismo, por lo tanto, es necesario un tratamiento para controlar estos parámetros.

#### **2.2 Muestreo**

Existen diferentes métodos de muestreo y se debe elegir el más adecuado para el tipo de agua que se tenga, en este caso agua subterránea.

La toma de muestras es muy importante realizarla de manera correcta para conocer los parámetros que se encuentren fuera de norma y que serán tratados en la Planta de Potabilización. Los pasos a seguirse en la toma de muestras serán los siguientes:

**Tabla 2.1 Método para la toma de muestras**

<b>Nº</b>	<b>PASOS</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>TÉCNICA</b>
<b>1</b>	Preparación de listas, materiales y equipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Registros de muestreo</li> <li>- Recipientes a utilizarse</li> <li>- Materiales de higiene</li> <li>- Equipos para análisis in-situ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparar todos los materiales a utilizarse y verificar que estos se encuentren en buen estado, esterilizados y listos para usarse.</li> </ul>
<b>2</b>	Encontrar un lugar adecuado para la toma de muestra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La persona que vaya a tomar las muestras debe encontrar el mejor lugar para tomar la muestra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La muestra que se tome debe ser representativa.</li> </ul>
<b>3</b>	Tomar la muestra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recipientes herméticos de plástico o vidrio de 500ml</li> <li>- Guantes de látex</li> <li>- Etiquetas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe tomar la muestra preferiblemente directo desde la fuente en los recipientes herméticos y no dejar espacios de aire al cerrarlos.</li> <li>- Se debe llevar la cantidad de muestra necesaria para los análisis y un recipiente extra.</li> <li>- La persona que tome la muestra debe utilizar los guantes para evitar la contaminación de la muestra</li> <li>- Se debe rotular cada muestra que se tome colocando la información correspondiente al lugar, fecha, hora, etc.</li> </ul>

4	Realizar análisis in-situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidor de pH</li> <li>- Conductímetro</li> <li>- Termómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tomar una muestra representativa en un recipiente abierto y utilizar cada equipo para realizar el análisis correspondiente y anotar los resultados.</li> </ul>
5	Transporte y Almacenamiento		<ul style="list-style-type: none"> <li>- El transporte debe realizarse en recipientes herméticos evitando que reciban directamente luz solar o que se calienten.</li> <li>- Las muestras deben entregarse antes de las 24 horas después de haber sido tomadas y si es para análisis microbiológicos deben ser llevadas al laboratorio hasta después de 1 hora.</li> </ul>

**Fuente:** Pamela Logroño Villamarín.

El número de muestras a tomarse dependerá de los análisis que se requieran y de la cantidad necesaria para cada análisis, pero siempre se recomienda llevar más muestra por precaución.

## 2.3 Metodología

Se realizaron los análisis físico-químicos y microbiológicos de las muestras tomadas en el campo, los mismos que tuvieron lugar en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la “Universidad Nacional de Chimborazo” y en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

Las muestras fueron tomadas de un tanque reservorio que sale directamente de la fuente en la Comunidad Nitiluisa y se realizaron durante algunos meses varios análisis de cada parámetro para poder tener varios resultados y compararlos.

De igual manera, las muestras tomadas fueron en épocas diferentes para notar las variaciones de los parámetros debido a las lluvias en invierno y los fuertes soles en verano.

Los recipientes utilizados en cada una de las veces fueron de plástico y nuevos para evitar la contaminación. Su etiquetado y transporte se lo hizo de manera adecuada, permitiendo llegar al laboratorio en las mejores condiciones para su análisis y poder compararlos con los parámetros establecidos en la norma que tomaremos de referencia que es la NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable, Requisitos”.

### ***2.3.1 Tratamiento de las muestras***

Para el tratamiento de las muestras, se realizó primeramente una caracterización físico-química y microbiológica en los dos Laboratorios ya antes mencionados. A cada muestra de agua tomada de la vertiente se analizó los parámetros más importantes con respecto a la calidad de agua que indica la norma NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable, Requisitos”, con el fin de comparar los resultados obtenidos con los parámetros de agua de consumo humano que nos da esta norma y de esta manera buscar el tratamiento más adecuado para nuestro caso.

Entre los parámetros que fueron analizados en el laboratorio están: Color, pH, conductividad, turbiedad, cloruros, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos, sulfatos, amonios, nitritos, nitratos, hierro, fluoruros, fosfatos, solidos totales y sólidos disueltos; además de los análisis microbiológicos de coliformes totales y coliformes fecales. Las técnicas utilizadas para el análisis de cada parámetro de las muestras tomadas se realizaron según el Manual de Procedimientos Analíticos para Aguas y Efluentes (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater).

## **2.4 Datos experimentales**

### **2.4.1 Caracterización del Agua para Diagnóstico**

La caracterización de las muestras tomadas se realizó en un pequeño tanque de captación construido por la misma Comunidad de Nitiluisa, obteniendo los siguientes resultados:



**Tabla 2.2 Resultados del Análisis Físico-Químico del Agua**

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>*Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2006</b>	<b>RESULTADO</b>
Color	Unid. Co/Pt	< 15	10.0
pH	Unid.	6,5 – 8,5	6.7
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	456.0
Turbiedad	UNT	5	<0.1
Cloruros	mg/l	250	14.2
Dureza	mg/l	200	180.0
Calcio	mg/l	70	60.8
Magnesio	mg/l	30 – 50	6.8
Alcalinidad	mg/l	250 – 300	40.0
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300	40.8
Sulfatos	mg/l	200	52.0
Amonios	mg/l	< 0,50	<0.01
Nitritos	mg/l	0,01	0.009
Nitratos	mg/l	< 10	1.4
Hierro	mg/l	0,3	0.02
Fluoruros	mg/l	1,5	1.28
Fosfatos	mg/l	< 0,30	1.07
Sólidos Totales	mg/l	1000	356.0
Sólidos Disueltos	mg/l	500	181.0

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos “ESPOCH”

**Tabla 2.3 Resultados del Análisis Microbiológico del Agua**

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>*Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2006</b>	<b>RESULTADO</b>
Coliformes Totales	UFC/100 ml	0 Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	0 Ausencia	Ausencia

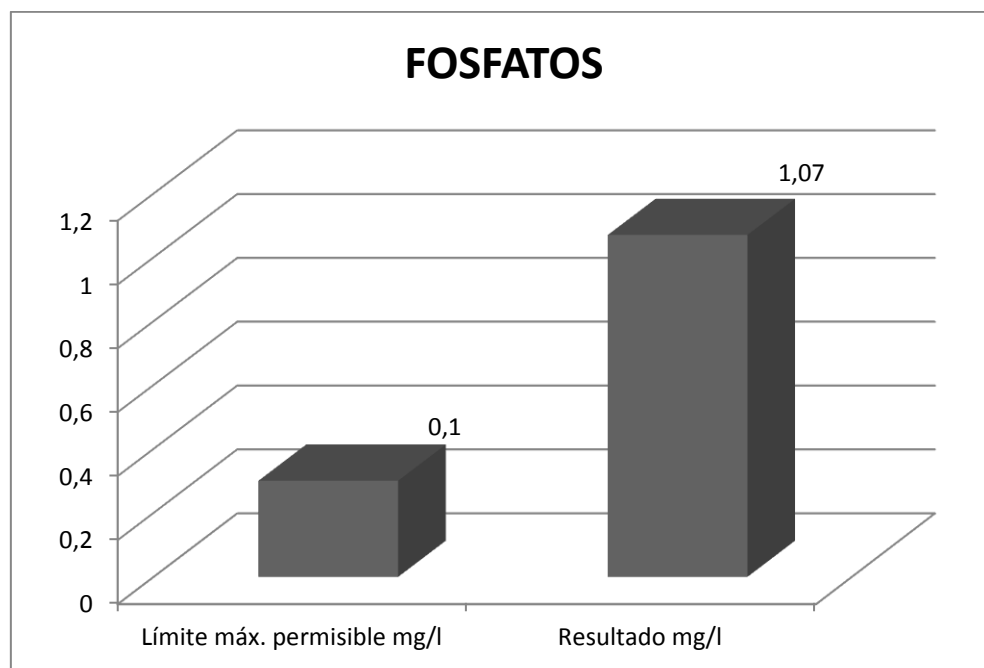
**Fuente:** Servicio Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos “SAQMIC”

### 2.4.2 Resultados de los Parámetros fuera de Norma

**Tabla 2.4 Resultados de los Parámetros fuera de Norma**

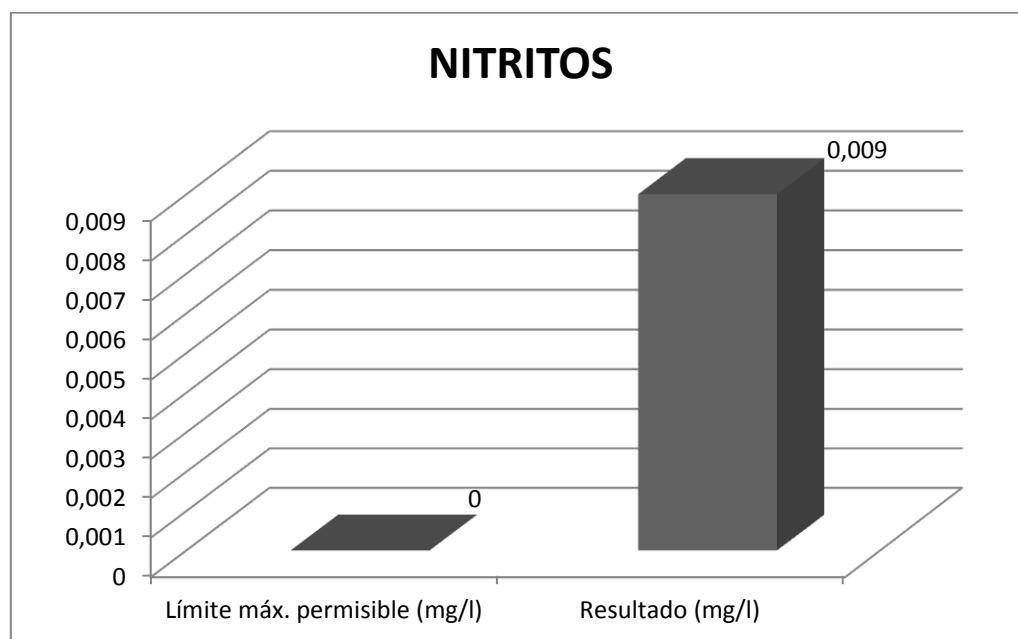
DETERMINACIÓN	UNIDADES	*Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2011, Guía para la Calidad del Agua Potable OMS	RESULTADO
Fosfatos	mg/l	< 0,30	1.07
Nitritos	mg/l	0,0	0,009

**Fuente:** Pamela Logroño Villamarín



**Gráfico 2.1 Parámetros fuera de Norma: Fosfatos**

**Fuente:** Pamela Logroño Villamarín.



**Gráfico 2.2 Parámetros fuera de Norma: Nitritos**

**Fuente:** Pamela Logroño Villamarín.

## CAPÍTULO III

### 3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 1.1 Cálculos

##### *3.1.1 Pruebas de tratabilidad*

Después de realizar la caracterización del agua y encontrar los parámetros que se hallan fuera de los límites de la norma NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable, Requisitos”, se hizo las pruebas de tratabilidad en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”, para encontrar el tratamiento más adecuado de acuerdo a los problemas que teníamos en nuestra muestra y la gente de la comunidad de Nitiluisa pueda consumir un agua potable de calidad.

##### *3.1.1.1 Prueba de Jarras*

Las pruebas de jarras fueron realizadas como ya se dijo anteriormente en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”, con diferentes muestras de agua en distintas épocas del año hasta obtener un resultado satisfactorio.

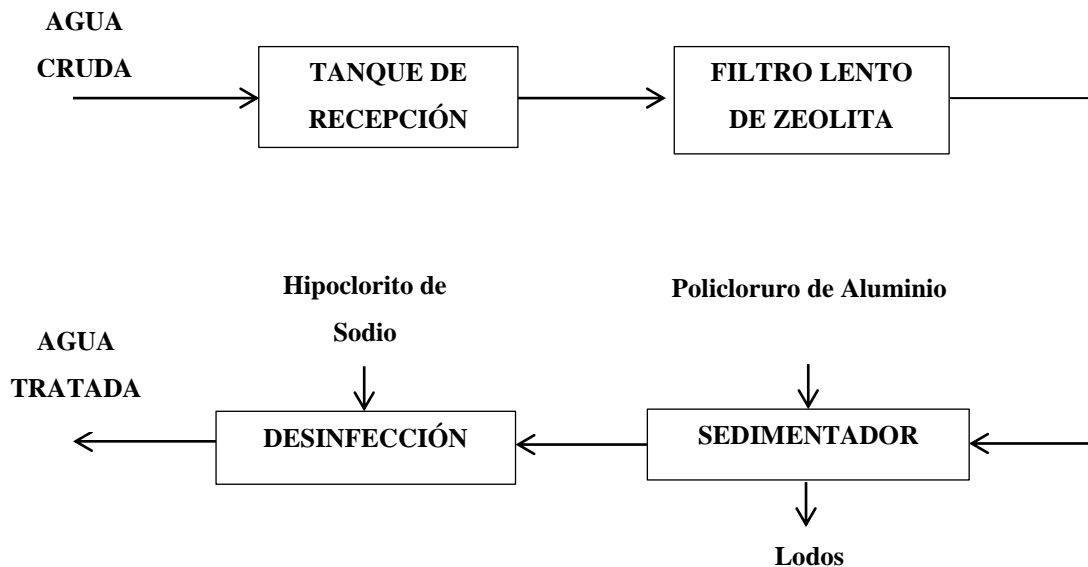
Para estas pruebas el químico que se utilizó para la remoción de fosfatos y nitritos fue el Policloruro de Aluminio, utilizado en distintas concentraciones con distintas muestras, sin embargo, el PAC no lograba removerlos y obtener valores que se encuentren dentro de la norma, razón por la cual se decidió utilizar Zeolita, que es un mineral que sirve como filtro y después de que la muestra pase por éste, se procedió a añadir el Policloruro de Aluminio, obteniendo los resultados necesarios.

Finalmente, se encontró que la concentración adecuada de PAC a utilizarse fue de 80 ppm, es decir, en cada litro de muestra de agua se utilizó 8ml de Policloruro de Aluminio al 1%, cantidad con la cual se logró remover los fosfatos y nitritos hasta obtener valores que se encuentren dentro de los parámetros que nos indica la norma.

Además de esto, se pudieron controlar algunos parámetros que en ciertos casos estaban cerca de los límites, como son el pH y la turbiedad.

### 1.1.2 Diseño de Ingeniería

#### 3.1.2.1 Propuesta de Diseño de Planta de Potabilización de Agua



#### 1.1.2.2 Cálculos de Ingeniería

##### 3.1.2.2.1 Caudal de diseño

La comunidad de Nitiluisa cuenta con una vertiente de agua subterránea sin ningún tipo de tratamiento. Aproximadamente existen 360 familias que viene a ser un aproximado de 1800 habitantes que hacen uso de este líquido vital en condiciones insalubres.

La mayoría de la población en la comunidad es de edad avanzada debido a que la gente joven migra a las ciudades, especialmente a Riobamba en busca de trabajo, por lo tanto, casi no existe crecimiento de población.

Las vertientes de donde se obtiene el agua para esta comunidad son las únicas fuentes existentes en el sector, razón por la cual no se hará proyección de la población, al no existir crecimiento de ésta y tampoco otra fuente para que se pueda estimar un incremento de caudal.

Tenemos dos caudales debido a que se tomará el agua de dos vertientes diferentes para llevarlas hasta un tanque de recepción. De esta manera, el caudal de agua con el que se cuenta es el siguiente:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = 1,2 + 3,5$$

$$Q = 4,7 \text{ L/s}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño (L/s)

#### 3.1.2.2.2 Filtro lento de zeolita

La construcción del Filtro Lento de Zeolita se hará con el objetivo de remover las partículas presentes en el agua, además de bajar la concentración de fosfatos y nitritos. Será construido con hormigón y el caudal con el que se trabajará será de 4,7 L/s, calculado anteriormente.

#### ▪ Número de Filtros

Según la Ecuación 1.1, el número de filtros viene dado por:

$$n_f = 0,044\sqrt{Q}$$

$$n_f = 0,044\sqrt{406,08}$$

$$n_f = 0,887 \rightarrow 1 \text{ filtro.}$$

Sin embargo, en la mayoría de plantas se instalan 2 filtros, de tal manera que cuando se haga el mantenimiento del primero, el otro siga funcionando.

Donde:

N<sub>f</sub> = Número de filtros (adimensional)

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día)

#### ▪ Área del filtro

El área del filtro se calcula mediante la Ecuación 1.2:

$$A_f = \frac{Q}{\text{tasa de filtración}}$$

$$A_f = \frac{406,08}{288}$$

$$A_f = 1,41 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_f$  = Área del filtro ( $\text{m}^2$ )

$Q$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

Tasa de filtración = Para la Zeolita la tasa de filtración se encuentra entre 10 – 15 m/h, si tomamos un valor de 12 m/h, tendremos un valor de 288 m/día

#### ▪ Coeficiente de mínimo costo

Según la Ecuación 1.4, el coeficiente de mínimo costo viene dado por:

$$k_c = \frac{2n_f}{n_f + 1}$$

$$k_c = \frac{2 * 2}{2 + 1}$$

$$k_c = 1,33$$

Donde:

$k_c$  = Coeficiente de mínimo costo (adimensional)

$n_f$  = Número de filtros (adimensional)

#### ▪ Longitud del filtro

La longitud del filtro se calcula mediante la Ecuación 1.5:

$$L_f = \sqrt{A_f * k_c}$$

$$L_f = \sqrt{1,41 * 1,33}$$

$$L_f = 1,37 \text{ m}$$

Donde:

$L_f$  = Longitud del filtro (m)

$A_f$  = Área del filtro ( $\text{m}^2$ )

$K_c$  = Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

- **Ancho del filtro**

Según la Ecuación 1.6, el ancho del filtro se calcula de la siguiente manera:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{k_c}}$$

$$a_f = \sqrt{\frac{1,41}{1,33}}$$

$$a_f = 1,03 \text{ m}$$

Donde:

$a_f$  = Ancho del filtro (m)

$A_f$  = Área del filtro ( $\text{m}^2$ )

$K_c$  = Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

- **Altura del filtro**

La altura del filtro va a depender de la altura de la capa del agua, la altura del lecho filtrante, la altura de la capa de soporte y la altura del drenaje del sistema, además del factor de seguridad que generalmente es de 10%. De esta manera, se va a calcular de acuerdo a la Ecuación 1.7:

$$Z_f = f_s(C_a + L_a + C_s + F_c)$$

$$Z_f = 1,1(1 + 0,8 + 0,3 + 0,7)$$

$$Z_f = 3,08 \text{ m}$$

Donde:

$Z_f$  = Altura del filtro (m)

$f_s$  = Factor de seguridad, que para este caso es del 10% (adimensional)

$C_a$  = Altura de la capa del agua sobre el lecho (m), valor que se encuentra en la Tabla 1.1

$L_a$  = Altura del lecho filtrante (m), este valor se encuentra en la Tabla 1.1

$C_s$  = Altura de la capa de soporte (m), valor especificado en la Tabla 1.1

$F_c$  = Altura del drenaje del sistema (m), valor que se encuentra en la Tabla 1.1



- **Sistema de Drenaje**

- **Área de los orificios laterales**

El área de los orificios laterales se calcula mediante la Ecuación 1.8:

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$
$$A_o = \frac{\pi * 0,003^2}{4}$$
$$A_o = 7,06 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$
$$A_o = 0,07 \text{ cm}^2$$

Donde:

$A_o$  = Área de los orificios laterales ( $\text{cm}^2$ )

$D_o$  = Diámetro de los orificios laterales, valor que se encuentra en la Tabla 1.2, siendo de 3mm o de 0,003 m.

- **Caudal que ingresa a los orificios laterales**

El caudal que ingresa a cada orificio está dado por la Ecuación 1.9:

$$Q_o = A_o v_o$$
$$Q_o = 7,06 \times 10^{-6} * 0,3$$
$$Q_o = 2,118 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

$Q_o$  = Caudal que ingresa a cada orificio lateral ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A_o$  = Área de cada orificio lateral ( $\text{m}^2$ )

$V_o$  = Velocidad en los orificios laterales ( $\text{m/s}$ ), valor que se encuentra en la Tabla 1.2

- **Número de laterales**

La Ecuación 1.10 nos permite calcular el número de laterales de la siguiente manera:

$$N_L = n_L \frac{L_f}{e_L}$$

$$N_L = 2 * \frac{1,37}{1,5}$$

$$N_L = 1,82 \rightarrow 2 \text{ laterales}$$

Donde:

$N_L$  = Número de laterales (adimensional)

$n_L$  = Número de filtros (adimensional), calculado anteriormente

$L_f$  = Longitud del filtro (m), calculado anteriormente

$e_L$  = Separación entre los laterales (m), valor que se encuentra en la Tabla 1.2

#### ▪ **Diámetro de la Tubería de entrada al filtro**

El diámetro de la tubería de entrada al filtro viene dada por la Ecuación 1.11:

$$D_T = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4(4,7 \times 10^{-3})}{\pi(1,6)}}$$

$$D_T = 0,061 \text{ m}$$

Donde:

$D_T$  = Diámetro de la tubería de entrada al filtro (m)

$Q$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$v_e$  = Velocidad del agua a través de la tubería de entrada (m/s), valor que corresponde a los parámetros de diseño y se encuentra en la Tabla 1.3

#### ▪ **Diámetro de la tubería de salida del filtro**

El diámetro de la tubería de salida del filtro viene dado por la Ecuación 1.12:

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_s}}$$

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4(4,7 \times 10^{-3})}{\pi(0,6)}}$$

$$D_{Ts} = 0,099 \text{ m}$$

Donde:

$D_{Ts}$  = Diámetro de la tubería de salida al filtro (m)

$Q$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$v_s$  = Velocidad del agua a través de la tubería de salida (m/s), valor que corresponde a los parámetros de diseño y se encuentra en la Tabla 1.3

#### ▪ Velocidad óptima de lavado del filtro

Mediante la Ecuación 1.13 se calcula la velocidad óptima de lavado de la siguiente manera:

$$v_1 = D_{60} = CU * TE$$

$$v_1 = (2) * (0,20)$$

$$v_1 = 0,4 \text{ m/min}$$

Donde:

$v_1$  = Velocidad óptima de lavado del filtro (m/min)

$D_{60}$  = Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad (mm)

$CU$  = Coeficiente de uniformidad de la zeolita (adimensional), valor que está en la Tabla 1.4

$TE$  = Tamaño efectivo de la zeolita (mm), valor que se encuentra en la Tabla 1.4

#### ▪ Cantidad de agua para el lavado del filtro

Mediante la Ecuación 1.14 podemos calcular la cantidad de agua necesaria para el lavado del filtro, así:

$$V_L = v_1 * A_f * t_L$$

$$V_L = 0,4 * 1,41 * 15$$

$$V_L = 8,46 \text{ m}^3$$

Donde:

$V_L$  = Volumen de agua necesaria para el lavado del filtro ( $\text{m}^3$ )

$v_1$  = Velocidad óptima del lavado del filtro (m/min), calculado anteriormente

$A_f$  = Área del filtro ( $m^2$ ), calculado anteriormente

$t_L$  = Tiempo óptimo de lavado (min), valor que se encuentra en la Tabla 1.1, que corresponde a los parámetros de diseño del filtro.

#### 3.1.2.2.3 Vertedero rectangular

La construcción del vertedero rectangular se realiza con el objetivo de dispersar de la mejor manera el Policloruro de Aluminio en el agua. Será construido con hormigón y el caudal con el que se trabajará será de 4,7 L/s.

##### ▪ Canal del Vertedero

Para calcular la profundidad del canal del vertedero utilizamos la ecuación 1.15:

$$Cv = fs * H$$

$$Cv = 1,10 (0,05)$$

$$Cv = 0,055 \text{ m} \rightarrow 1 \text{ m}$$

Aproximamos la profundidad del canal del vertedero a 1 metro con el fin de que exista una buena caída del agua y se mezcle bien el químico al haber mayor turbulencia.

Donde:

$C_v$  = Profundidad del canal del vertedero (m)

$f_s$  = factor de seguridad (adimensional), para este caso el factor es de 10%

$H$  = Altura de la lámina del agua (m), de acuerdo a los parámetros que indican que este valor debe ser de mínimo 0,05 m, y al tener un caudal pequeño utilizamos este valor.

##### ▪ Ancho vertedero

El ancho del vertedero viene dado por la Ecuación 1.16:

$$Q = 1,84 B H^{\frac{3}{2}}$$

$$B = \frac{Q}{1,84 H^{\frac{3}{2}}}$$

$$B = \frac{4,7 \times 10^{-3}}{1,84(0,05)^{\frac{3}{2}}}$$

$$B = 0,23 \text{ m}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

B = Ancho del vertedero (m)

H = Altura de la lámina de agua (m)

#### ▪ Caudal por Unidad de ancho

El caudal por unidad de ancho viene dado por la Ecuación 1.17:

$$q = \frac{Q}{B}$$

$$q = \frac{4,7 \times 10^{-3}}{0,23}$$

$$q = 0,02 \text{ m}^2/\text{s}$$

Donde:

q = Caudal por unidad de ancho (m<sup>2</sup>/s)

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

B = Ancho del vertedero (m)

#### ▪ Profundidad Crítica de Flujo

El cálculo de la profundidad crítica de flujo se realiza mediante la Ecuación 1.18:

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

$$h_c = \left(\frac{(0,02)^2}{9,8}\right)^{1/3}$$

$$h_c = 0,034 \text{ m}$$

Donde:

h<sub>c</sub> = Profundidad crítica de flujo (m)

q = Caudal por unidad de ancho (m<sup>2</sup>/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

- **Longitud del Salto**

Mediante la Ecuación 1.19 podemos calcular la longitud del salto, así:

$$\begin{aligned}L_m &= 4,3P^{0,1}h_c^{0,9} \\L_m &= 4,3 (0,5)^{0,1}(0,034)^{0,9} \\L_m &= 0,19m\end{aligned}$$

Donde:

$L_m$  = Longitud del salto (m)

P = Altura de la pared del vertedero (m)

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo (m)

La altura de la pared del vertedero, P será de 0,50 m en nuestro caso para que exista un resalto estable y una mezcla eficiente, así el número de Froude calculado estará comprendido entre 4,5 y 9.

- **Profundidad Supercrítica**

La Ecuación 1.20 nos permite calcular la profundidad supercrítica:

$$\begin{aligned}h_1 &= \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} * h_c \\h_1 &= \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{0,5}{0,034} + 1,5}} * 0,034 \\h_1 &= 9,45 \times 10^{-3} m\end{aligned}$$

Donde:

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

P = Altura de la pared del vertedero (m)

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo (m)

- **Velocidad del agua en el salto**

La velocidad del agua en el salto la calculamos mediante la Ecuación 1.21:

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

$$v_1 = \frac{0,02}{9,45 \times 10^{-3}}$$

$$v_1 = 2,12 \text{ m/s}$$

Donde:

$v_1$  = Velocidad del agua en el salto (m/s)

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

$q$  = Caudal por unidad de ancho ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

#### ▪ Número de Froude

La Ecuación 1.22 nos permite calcular el Número de Froude:

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

$$F = \frac{2,12}{\sqrt{(9,8)(9,45 \times 10^{-3})}}$$

$$F = 6,97$$

Donde:

$F$  = Número de Froude (adimensional)

$v_1$  = Velocidad del agua en el salto (m/s)

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

#### ▪ Profundidad Subcrítica

La profundidad subcrítica la calculamos por medio de la Ecuación 1.23:

$$h_2 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right) * h_1$$

$$h_2 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8(6,97)^2} - 1 \right) * 9,45 \times 10^{-3}$$

$$h_2 = 0,088 \text{ m}$$

Donde:

$h_2$  = Profundidad subcrítica (m)

F = Número de Froude (adimensional)

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

- **Velocidad del agua en el resalto**

La velocidad del agua en el resalto la podemos obtener con la Ecuación 1.24:

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$
$$v_2 = \frac{0,02}{0,088}$$
$$v_2 = 0,23 \text{ m/s}$$

Donde:

$v_2$  = Velocidad del agua en el resalto (m/s)

q = Caudal por unidad de ancho ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$h_2$  = Profundidad subcrítica (m)

- **Pérdida de energía en el resalto**

La Ecuación 1.25 nos permite calcular la pérdida de energía en el resalto:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$
$$h = \frac{(0,088 - 9,45 \times 10^{-3})^3}{4(0,088)(9,45 \times 10^{-3})}$$
$$h = 0,15 \text{ m}$$

Donde:

h = Pérdida de energía en el resalto (m)

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

$h_2$  = Profundidad subcrítica (m)



- **Longitud del resalto para resalto estable**

La longitud del resalto la vamos a obtener a partir de la Ecuación 1.26:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$
$$L_j = 6(0,088 - 9,45 \times 10^{-3})$$
$$L_j = 0,47 \text{ m}$$

Donde:

$L_j$  = Longitud del resalto para resalto estable (m)

$h_1$  = Profundidad supercrítica (m)

$h_2$  = Profundidad subcrítica (m)

- **Velocidad media en el resalto**

La Ecuación 1.27 nos permite calcular la velocidad media en el resalto:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$
$$v_m = \frac{2,12 + 0,23}{2}$$
$$v_m = 1,18 \text{ m/s}$$

Donde:

$v_m$  = Velocidad media en el resalto (m/s)

$v_1$  = Velocidad del agua en el salto (m/s)

$v_2$  = Velocidad del agua en el resalto (m/s)

- **Tiempo de mezcla**

También llamado retención, se calcula mediante la Ecuación 1.28:

$$t = \frac{L_j}{v_m}$$
$$t = \frac{0,47}{1,18}$$
$$t = 0,40 \text{ s}$$

Donde:

t = Tiempo de mezcla (s)

$L_j$  = Longitud del resalto para resalto estable (m)

$v_m$  = Velocidad media en el resalto (m/s)

#### ▪ **Gradiente de velocidad**

El gradiente velocidad se calcula con el fin de conocer los requerimientos de energía en la mezcla, mediante la Ecuación 1.29:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}}$$
$$G = \sqrt{\frac{(9,798)(0,15)}{(1,139 \times 10^{-3})(0,40)}}$$
$$G = 1796,61 \text{ s}^{-1}$$

Donde:

G = Gradiente de velocidad ( $\text{s}^{-1}$ )

h = Pérdida de energía en el resalto (m)

t = Tiempo de mezcla (s)

$\gamma$  = Peso específico del agua ( $\text{N/m}^3$ ), valor que se encuentra en la Tabla 1.5

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua ( $\text{Pa.s}$ ), valor especificado en la Tabla 1.5

#### 3.1.2.2.4 *Sedimentador rectangular*

Se construirá con hormigón un tanque sedimentador rectangular con el fin de que precipite todas las partículas y remover la cantidad de fosfatos y nitritos que quedan.

#### ▪ **Área del sedimentador**

El caudal a utilizarse también será de 4,7 L/s y la Carga Superficial de  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ . Para calcular el área del sedimentador utilizamos la Ecuación 1.31:

$$A = \frac{Q}{CS}$$

$$A = \frac{406,08}{50}$$

$$A = 8,12 \text{ m}^2$$

Donde:

A = Área del sedimentador ( $\text{m}^2$ )

Q = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

CS = Carga Superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ ), valor asumido de acuerdo a la Tabla 1.6

#### ▪ Cálculo del ancho del sedimentador

Si se supone una relación de largo/ancho de 2:1, tendremos mediante la Ecuación 1.32, que:

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$a = \sqrt{\frac{8,12}{2}}$$

$$a = 2,01 \text{ m}$$

Donde:

a = Ancho del sedimentador (m)

A = Área del sedimentador ( $\text{m}^2$ )

#### ▪ Cálculo del largo del sedimentador

De acuerdo a lo anterior, el cálculo del largo del sedimentador viene dado por la Ecuación 1.33:

$$l = 2 * a$$

$$l = 2 * 2,01$$

$$l = 4,02 \text{ m}$$

Donde:

l = Largo del sedimentador (m)

a = Ancho del sedimentador (m)

La nueva Carga Superficial estará dada entonces por la Ecuación 1.30:

$$CS = \frac{Q}{A}$$

$$CS = \frac{406,08}{8,12}$$

$$CS = 50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

Donde:

CS = Carga Superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ )

A = Área del sedimentador ( $\text{m}^2$ )

Q = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

#### ▪ **Volumen del Sedimentador**

El volumen del sedimentador se calculará mediante la Ecuación 1.34, proponiendo para éste una profundidad de 2 metros.

$$V = l * a * h$$

$$V = (4,02)(2,01)(2)$$

$$V = 16,16 \text{ m}^3$$

Donde:

V = Volumen del sedimentador ( $\text{m}^3$ )

l = Largo del sedimentador (m)

a = Ancho del sedimentador (m)

h = Profundidad del sedimentador (m)

Utilizando un factor de seguridad de 10% tendremos que:

$$V = 16,16 * 1,10$$

$$V = 17,78 \text{ m}^3$$

#### ▪ **Tiempo de retención hidráulico**

El cálculo del tiempo de retención hidráulico viene dado por la Ecuación 1.35:

$$T_{rh} = \frac{V}{Q}$$

$$T_{rh} = \frac{17,78}{16,92}$$

$$T_{rh} = 1,05 \text{ horas} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ horas}}$$

$$T_{rh} = 90 \text{ min}$$

Donde:

Trh = Tiempo de residencia hidráulico (h)

V = Volumen del sedimentador (m<sup>3</sup>)

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)

#### ▪ Velocidad de arrastre

La velocidad de arrastre podemos calcularla a partir de la Ecuación 136:

$$V_H = \frac{8K(s-1)gd}{f}$$

$$V_H = \frac{8(0,05)(1,25-1)(9,8)(100 \times 10^{-6})}{0,025}$$

$$V_H = 0,0626 \text{ m/s}$$

Donde:

V<sub>H</sub> = Velocidad de arrastre (m/s)

K = Constante del tipo de material arrastrado (arena) (adimensional)

s = Peso específico de las partículas

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

d = Diámetro de las partículas (μm)

f = Factor de fricción del concreto (adimensional)

#### ▪ Velocidad horizontal

La velocidad de arrastre se puede comparar con la velocidad horizontal que se calcula a partir de la Ecuación 1.37:

$$V_h = \frac{Q}{A}$$

$$V_h = \frac{4,7 \times 10^{-3}}{8,12}$$

$$V_h = 5,79 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Donde:

$V_h$  = Velocidad horizontal (m/s)

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$A$  = Área del sedimentador ( $m^2$ )

Podemos observar que la velocidad horizontal es considerablemente menor a la velocidad de arrastre, por lo que se puede decir que el material sedimentado no será re-suspendido.

#### 3.1.2.2.5 Desinfección

A pesar de que en los análisis microbiológicos tenemos como resultado la ausencia de coliformes fecales y totales, siempre es necesaria una desinfección mínima como última etapa del proceso, con el fin de asegurar la eliminación de los microorganismos patógenos del agua que puedan causar enfermedades en el ser humano.

##### ▪ **Peso de Cloro necesario**

El peso de cloro necesario para el agua que se va a tratar, se determina mediante la Ecuación 1.38:

$$P_{Cl} = \frac{Q * D * T}{1000}$$
$$P_{Cl} = \frac{(0,0047) * (1,5) * (57600)}{1000}$$
$$P_{Cl} = 0,406 \frac{kg}{día} \text{ Hipoclorito de Sodio}$$

Donde:

$P_{Cl}$  = Peso de cloro (kg/día)

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$D$  = Demanda de Cloro en el agua (mg/L), valor que se encuentra en la Tabla 1.7

$T$  = Período de almacenamiento de la solución (s), de acuerdo a las 16 horas que trabajará la planta al día.

##### ▪ **Volumen del hipoclorador**

Para determinar el volumen del hipoclorador utilizamos la Ecuación 1.39:

$$V_H = \frac{P_{Cl}}{5C}$$

$$V_H = \frac{0,406}{5(5)}$$

$$V_H = 0,016 \text{ m}^3$$

Donde:

$V_H$  = Volumen del hipoclorador ( $\text{m}^3$ )

$P_{Cl}$  = Peso de cloro ( $\text{kg/día}$ )

$C$  = Concentración del hipoclorito de sodio (5%), similar a la concentración del cloro doméstico.

#### ▪ **Tanque de contacto para la mezcla del Cloro**

Este tanque estará hecho de hormigón y el caudal que se utilizará será de 4,7 L/s con el fin de que sea utilizado también como tanque de almacenamiento. El tiempo de retención será de 30 minutos para poder tener un volumen suficiente para repartir a los tanques de los barrios Central, Corona Real y Rumipamba. Este tiempo es el necesario para que el cloro en contacto con el agua elimine todos los patógenos existentes en ésta y se pueda distribuir un agua de calidad a los habitantes de este sector.

De esta manera, mediante la Ecuación 1.40 podemos determinar el volumen del tanque para la mezcla de cloro, utilizando 10% como el factor de seguridad:

$$V_{TC} = Q * t * f_s$$

$$V_{TC} = (0,0047)(1800)(1,1)$$

$$V_{TC} = 9,3 \text{ m}^3$$

Donde:

$V_{TC}$  = Volumen del tanque para la mezcla de Cloro ( $\text{m}^3$ )

$Q$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$t$  = Tiempo de retención (s)

$f_s$  = Factor de seguridad (adimensional)

#### ▪ **Altura del tanque para la mezcla del Cloro**

Si asumimos una base cuadrada y un área de  $4 \text{ m}^2$ , de acuerdo a la Ecuación 1.41, la altura del tanque vendrá dada por:

$$H_{TC} = \frac{V_{TC}}{A_{TC}}$$

$$H_{TC} = \frac{9,3}{4}$$

$$H_{TC} = 2,32 \text{ m}$$

Donde:

$H_{TC}$  = Altura del tanque para la mezcla del Cloro (m)

$V_{TC}$  = Volumen del tanque para la mezcla de Cloro ( $m^3$ )

$A_{TC}$  = Área del tanque para la mezcla de Cloro ( $m^2$ )

### 3.1.2.2.6 Dosificación del Policloruro de Aluminio

La dosificación del Policloruro de Aluminio se determinó en el laboratorio mediante la prueba de jarras, encontrando que la cantidad adecuada será de 8ml de solución de PAC al 1%, por cada litro que se tenga de agua. Esta dosificación se hará por vía líquida, mediante una bomba dosificadora. De esta manera, la cantidad que se usará al día será:

$$x = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

$$x = \frac{(16,92)(80)}{(60)(1)(1,24)}$$

$$x = 18,19 \text{ ml/min}$$

Donde:

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/h$ )

$C$  = Concentración del PAC utilizado en la prueba de jarras (ppm)

$P$  = Porcentaje de dilución (1%)

$\rho$  = Densidad del PAC (kg/L)

Nuestra planta de tratamiento trabajará 16 horas al día, suponiendo que trabaje de 06H00 a 22H00. Así tendremos la siguiente conversión:

$$x = \frac{(18,19)(60)(16)}{1000}$$

$$x = 17,46 \text{ L/día}$$

$$x = 21,65 \text{ kg/día}$$



### 1.1.2.3 Capacidad o Dimensionamiento de la Planta

#### 3.1.2.3.1 Resultados de Caudal de Diseño

**Tabla 3.1 Resultados del Caudal de diseño**

DATOS	SÍMBOLO	UNIDADES			
		L/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /día
Caudal 1	Q <sub>1</sub>	1,2	0,0012	4,32	103,68
Caudal 2	Q <sub>2</sub>	3,5	0,0035	12,6	302,4
Caudal de Diseño	Q	4,7	0,0047	16,92	406,08

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

#### 3.1.2.3.2 Resultados del Filtro Lento de Zeolita

**Tabla 3.2 Resultados del Filtro Lento de Zeolita**

CÁLCULOS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Número de filtros	n <sub>f</sub>	2	-
Área del filtro	A <sub>f</sub>	1,41	m <sup>2</sup>
Coefficiente de mínimo costo	K <sub>c</sub>	1,33	-
Longitud del filtro	L <sub>f</sub>	1,37	m
Ancho del filtro	a <sub>f</sub>	1,03	m
Altura del filtro	Z <sub>f</sub>	3,08	m
Área de los orificios laterales	A <sub>o</sub>	0,07	cm <sup>2</sup>
Caudal que ingresa a cada orificio	Q <sub>o</sub>	0,0021	m/s
Número de laterales	N <sub>L</sub>	2,00	-
Diámetro de la tubería de entrada al filtro	D <sub>T</sub>	0,06	m
Diámetro de la tubería de salida del filtro	D <sub>Ts</sub>	0,099	m
Velocidad óptima de lavado del filtro	v <sub>l</sub>	0,40	m/min
Cantidad de agua para el lavado	V <sub>l</sub>	8,46	m <sup>3</sup>

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

### 3.1.2.3.3 Resultados del Vertedero Rectangular

**Tabla 3.3 Resultados del Vertedero Rectangular**

CÁLCULOS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Profundidad del canal del vertedero	$C_v$	1,00	m
Longitud del canal del vertedero	-	1	m
Ancho del vertedero	B	0,23	m
Caudal por unidad de ancho	q	0,02	m <sup>2</sup> /s
Profundidad crítica de flujo	$h_c$	0,034	m
Longitud del salto	$L_m$	0,19	m
Profundidad supercrítica	$h_1$	0,0095	m
Velocidad del agua en el salto	$v_1$	2,12	m/s
Número de Froude	F	6,97	-
Profundidad subcrítica	$h_2$	0,08	m
Velocidad del agua en el resalto	$v_2$	0,23	m/s
Pérdida de energía en el resalto	h	0,15	m
Longitud del resalto	$L_j$	0,47	m
Velocidad media en el resalto	$v_m$	1,18	m/s
Tiempo de mezcla	t	0,40	s
Gradiente de velocidad	G	1796,61	s <sup>-1</sup>

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

### 3.1.2.3.4 Resultados del Sedimentador Rectangular

**Tabla 3.4 Resultados del Sedimentador Rectangular**

CÁLCULOS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Área del Sedimentador	A	8,12	m <sup>2</sup>
Ancho del Sedimentador	a	2,01	m
Altura del Sedimentador	h	2,0	m
Largo del Sedimentador	l	4,02	m
Volumen del Sedimentador	V	17,78	m <sup>3</sup>
Carga Superficial	CS	50	-
Tiempo de retención	$T_{rh}$	1,05	h
Velocidad de arrastre	$V_H$	0,0626	m/s
Velocidad horizontal	$V_h$	0,00058	m/s

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

### 3.1.2.3.5 Resultados de la Desinfección

**Tabla 3.5 Resultados de la Desinfección**

CÁLCULOS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Dosis de cloro necesario	D	1,5	mg/L
Periodo de almacenamiento del cloro	T	0,5	horas
Concentración del cloro	C <sub>Cl</sub>	5	%
Peso de cloro necesario	P <sub>Cl</sub>	0,406	Kg/d
Volumen del hipoclorador	V <sub>H</sub>	0,016	m <sup>3</sup>
<b>Tanque de contacto para mezcla de cloro y almacenamiento</b>			
Volumen del tanque para mezcla de cloro	V <sub>Tc</sub>	9,3	m <sup>3</sup>
Altura del tanque para mezcla de cloro	H <sub>Tc</sub>	3	m

**Fuente:** Pamela Logroño Villamarín.

### 3.1.2.3.6 Resultados de la Tratabilidad del Agua

**Tabla 3.6 Resultados de la Tratabilidad del Agua**

PARÁMETROS	MUESTRA 1			MUESTRA 2		
	AGUA CRUDA	FILTRO DE ZEOLITA	PAC (80ppm)	AGUA CRUDA	FILTRO DE ZEOLITA	PAC (80ppm)
<b>pH</b>	7,44	8,15	7,52	6,94	7,95	7,21
<b>Turbiedad</b>	0,40	1,60	0,80	0,36	1,80	0,10
<b>Fosfatos</b>	1,07	0,85	0,10	1,01	0,86	0,08
<b>Nitritos</b>	0,009	0,007	0.0	0.008	0.007	0.0

**Fuente:** Pamela Logroño Villamarín.

### 3.1.2.4 Tipos de Materiales y Accesorios

**Tabla 3.7 Tipos de Materiales y Accesorios**

EQUIPO ACCESORIO	MATERIAL	UNIDAD	CANTIDA D	CAPACIDAD DIMENSIONES	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Empedrado piso de tanques	Piedra de empedrado	m <sup>2</sup>	39	39	6,5	253,5
Tanque de paso	Hormigón f'c=210kg/cm2 en tanque de paso	m <sup>3</sup>	0,33	0.5X0.5X0.5 e=0.15	145	47,85
Tanque receptor	Impermeabilizacion paredes-piso tanque	m <sup>2</sup>	22	2X3X2	145	3190
Tanques filtros	Hormigón f'c=210kg/cm2 en tanques filtro	m <sup>3</sup>	3,17	1,4X1X3,1 e=0,15	145	459,65
Vertedero rectangular	Hormigón f'c=210kg/cm2 en vertedero	m <sup>3</sup>	0,21	1x0,2	145	30,45
Bomba dosificadora	--	--	--	--	590	590
Tanque sedimentador	Hormigón f'c=210kg/cm2 en sedimentador	m <sup>3</sup>	5,34	4X4X2 e=0,15	145	774,3
Tanque desinfeccion	Hormigón f'c=210kg/cm2 en desinfeccion	m <sup>3</sup>	6,75	3X3X3 e=0,15	145	978,75
Hipoclorador por goteo	--	m <sup>3</sup>	0,009	--	100	100
Tanque de almacenamiento corona real	Hormigón f'c=210kg/cm2 en tanque de almacenamiento corona	m <sup>3</sup>	3,9	3X2X3 e=0,15	145	565,5
Acero de refuerzo	Acero fy =4200 kg/cm2	kg	820	--	1,5	1230
Enlucidos	Enlucido (mortero arena+cemento+impermeabilizante)	m <sup>2</sup>	224,8	--	6,5	1461,2
Impermeabilizacion interna de tanques	Aditivo sika sikaplan®wt 4220-15c	m <sup>2</sup>	144	--	12	1728
Tuberia pvc diam 2,5 plg 0,63 mpa	Pvc	ml	30	2 PLG DIAMETRO	3,14	94,2
Codos 90 pvc 2,5 plg 0,63 mpa	Pvc	U	3	2 PLG DIAMETRO	1,2	3,6
Tee 2,5 plg pvc 0,6 mpa	Pvc	U	2	2 PLG DIAMETRO	1,3	2,6
Valvula compuerta 2,5 plg tipo mariposa	Cobre	U	3	2 PLG DIAMETRO	30	90
Tuberia pvc diam 1plg 0,63 mpa	Pvc	ml	18	--	2,5	45
Valvula compuerta 1 plg tipo mariposa	Cobre	U	3	2 PLG DIAMETRO	22	66
				<b>TOTAL=</b>		<b>11710,6</b>

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

### 3.1.2.5 Requerimientos y Presupuesto

**Tabla 3.8 Costos de Químicos por día**

PRODUCTO	DOSIS	PRESENTACIÓN	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Policloruro de Aluminio	21,65 kg	Sacos 60 kg	\$ 1,12	\$ 24,25
Hipoclorito de Sodio	0,406 kg	Sacos 60 kg	\$ 0,88	\$ 0,36

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

**Tabla 3.9 Costo de Zeolita**

PRODUCTO	DOSIS	PRESENTACIÓN	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Zeolita	40 pie <sup>3</sup>	Pie cúbico (1)	\$ 100,80	\$ 4032

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

**Tabla 3.10 Salario Operador de la Planta**

Nº Operadores	Salario Mínimo (\$)	Salario Total (\$)
1	354	4248

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

**Tabla 3.11 Costo Total de la Implementación de la Planta por año**

REQUERIMIENTOS	COSTOS (\$)
Tipos de Materiales y Accesorios	11710,60
Mano de Obra	800,00
Costo de Químicos por año	8982.65
Costo de la Zeolita por año	4032
Salario del Operador por año	4248
TOTAL	29773,25

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

## 1.2 Resultados

### 3.2.1 Resultados de los Análisis físico-químicos y microbiológicos del agua cruda y tratada

Con el fin de comparar los análisis realizados al agua cruda al inicio en la caracterización y los resultados obtenidos después de la tratabilidad, se realizó los análisis correspondientes a todos los parámetros para controlar que todos se encuentran dentro de los límites que da la Norma NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable, Requisitos” y que el método de tratabilidad usado es el correcto para nuestra agua.

De esta manera, tenemos los análisis del agua cruda y el agua tratada que nos demuestran que el Filtro de Zeolita y la adición de Policloruro de Aluminio son efectivos en la remoción de fosfatos y nitritos, además de otros parámetros que estaban cerca de los límites que indica la norma. Tenemos entonces:

**Tabla 3.12 Resultados de los Análisis físico-químicos del agua cruda y tratada**

DETERMINACIÓN	UNIDADES	*Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2006	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA
Color	Unid. Co/Pt	< 15	10.0	10.0
pH	Unid.	6,5 – 8,5	6.7	7.21
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	456.0	471.0
Turbiedad	UNT	5	<0.1	0.1
Cloruros	mg/l	250	14.2	17.0
Dureza	mg/l	200	180.0	144.0
Calcio	mg/l	70	60.8	28.8
Magnesio	mg/l	30 – 50	6.8	17.5
Alcalinidad	mg/l	250 – 300	40.0	180
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300	40.8	183.6
Sulfatos	mg/l	200	52.0	51.0
Amonios	mg/l	< 0,50	<0.01	0.06
Nitritos	mg/l	0,01	0.009	0.0
Nitratos	mg/l	< 10	1.4	0.03
Hierro	mg/l	0,3	0.02	0.04
Fluoruros	mg/l	1,5	1.28	1.5
Fosfatos	mg/l	< 0,30	1.07	0.08
Sólidos Totales	mg/l	1000	356.0	380.0
Sólidos Disueltos	mg/l	500	181.0	184.0

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

**Tabla 3.13 Resultados de los Análisis microbiológicos del agua cruda y tratada**

DETERMINACIÓN	UNIDADES	*Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2006	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA
Coliformes Totales	UFC/100 ml	0 Ausencia	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	0 Ausencia	Ausencia	Ausencia

Fuente: Pamela Logroño Villamarín.

### ***3.2.2 Discusión de Resultados***

Después de realizar en el laboratorio una caracterización físico-química y microbiológica del agua de captación de la vertiente subterránea de la Comunidad de Nitiluiza, se pudo determinar los parámetros que se encontraban fuera de norma, que fueron los fosfatos y nitritos, los mismo que tenían un valor de 1,07 y 0,009 respectivamente, excediendo los fosfatos en gran cantidad el límite permisible según la NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable, Requisitos” que es la norma de referencia utilizada.

Posteriormente se realizó la prueba de jarras con el fin de remover los fosfatos y nitritos hasta el límite permisible en la norma, al principio se utilizó como coagulante el Policloruro de Aluminio, sin embargo esto no fue suficiente y después de investigar varias opciones, se decidió utilizar primero un filtro de Zeolita, debido a sus ventajas y después el tratamiento químico, obteniendo así los resultados esperados y la remoción de los fosfatos y nitritos por debajo del límite permisible, además de controlar parámetros como el pH, la turbiedad y la carga microbiológica.

Se determinó que la dosis necesaria de Policloruro de Aluminio es de 8ml por cada litro de agua sin tratar, es decir, una solución de 80ppm de PAC, de esta manera se logra flocular las sustancias que afectan la calidad de nuestra agua, obteniendo como resultado en el análisis de fosfatos un valor de 0,08 y de nitritos un valor de 0,0 que se encuentran dentro de los límites permisibles; convirtiéndola en un recurso seguro para el consumo de la gente de la comunidad y afirmando que es el método correcto de tratamiento para nuestro caso.

**Tabla 3.14 Porcentaje de Remoción de Fosfatos y Nitritos**

PARÁMETRO	PORCENTAJE DE REMOCIÓN
Fosfatos	92 %
Nitritos	100%

**Fuente:** Pamela Logroño Villamarín.

Este diseño es de gran importancia para Nitiluisa, ya que es una comunidad de bajos recursos que no cuentan con ningún tipo de tratamiento de agua potable y es un derecho de todos los ciudadanos el tener un recurso de buena calidad para su desarrollo. Debido a que la comunidad no cuenta con otras fuentes de abastecimiento de agua, no se realizó una proyección de la población para el caudal de diseño, teniendo entonces un caudal de 4,7 L/s para el diseño de las etapas que se necesitarán en la Planta de Tratamiento de Agua Potable, las mismas que son: Filtración, Floculación-Sedimentación y Desinfección.

Gracias a los resultados obtenidos en la caracterización del agua cruda y a la prueba de jarras realizados en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”, podemos decir que el Diseño de Ingeniería propuesto para este caso es eficiente y adecuado para satisfacer las necesidades de la Comunidad Nitiluisa.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización físico-química y microbiológica del agua de captación de la vertiente en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” para poder compararlos con los requerimientos de la Norma NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable”.
- Después de realizar una caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda, se encontró que los parámetros que exceden los límites de la norma de referencia son los fosfatos con 1,07 mg/L y los nitritos con 0,009 mg/L.
- Las pruebas de tratabilidad nos ayudaron a determinar el tratamiento más adecuado para nuestra agua, siendo este, la utilización de un filtro de Zeolita, para después agregar el coagulante que es Policloruro de Aluminio en una concentración de 80 ppm, con lo que se logró una remoción de 92% en fosfatos y 100% en nitritos.
- Una vez aplicado el tratamiento propuesto y haber comprobado que todos los parámetros se encuentran dentro de la Norma NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable”, se determinó que las etapas con las que contará nuestro Sistema de Tratamiento serán: Filtración Lenta utilizando como medio filtrante la Zeolita, Mezcla Rápida en Vertedero Rectangular, Coagulación con Policloruro de Aluminio, Sedimentación en Sedimentador Rectangular y Desinfección con Hipoclorito de Sodio, asegurando de esta manera un recurso seguro y de calidad.

## RECOMENDACIONES

- Aplicar el Diseño Propuesto del Sistema de Tratamiento de Agua Potable para la Comunidad de Nitiluisa, ya que es una necesidad urgente para la gente que habita en esta zona de bajos recursos.
- Cuando se realice la implementación del sistema, se debe tomar en cuenta la topografía del lugar, las dimensiones que se dan en la propuesta del diseño, las facilidades de acceso, entre otros aspectos, con el fin de que éste sea adecuado y eficiente para las necesidades de esta población.
- Si existe la posibilidad, se debe evitar que la planta entre en contacto con las condiciones ambientales, es decir, con el polvo, lluvia, etc., especialmente en la época de invierno.
- Es importante que previo a la construcción del sistema se asigne a un operador capacitado que vaya a encargarse del mantenimiento y limpieza de la misma, y así mismo, se tengan siempre a disposición los materiales e insumos necesarios para estas actividades, con el fin de que la planta no se detenga y se encuentre siempre en las condiciones adecuadas.
- Se debe revisar periódicamente si es requerido algún arreglo en el sistema o si es necesario el cambio de accesorios o tubería, para evitar fugas o infiltraciones en el mismo y de esta manera asegurar que este trabajo de manera adecuada y no se vea afectado el proceso ni la calidad del recurso.
- La construcción de la Planta de Tratamiento debe ser hecha con materiales de buena calidad para que ésta pueda durar muchos años en buen estado y correcta marcha, sin reducir su eficiencia. De la misma manera, los químicos, insumos y materiales necesarios para su funcionamiento y su limpieza deben ser de buena calidad, se deben revisar siempre las fechas de caducidad y se deben guardar en recipientes y lugares adecuados.
- Se deben realizar periódicamente caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del agua, para asegurar que todos los parámetros se encuentren dentro de norma y que las personas de la comunidad estén consumiendo un agua segura y de calidad.
- Se pueden realizar pruebas con otros medios filtrantes, con el fin de comprobar si con estos se lograría remover mayor cantidad de los parámetros que se encuentran fuera de los límites y de esta

manera se utilice menos químico o coagulante y poder disminuir los costos de operación del sistema.

- El mantenimiento del filtro de Zeolita se debe realizar según el Anexo XVIII.
- Las dosificaciones de Policloruro y de Aluminio se deben realizar de acuerdo al Anexo XX.
- Las dosificaciones de Hipoclorito de Sodio se deben realizar de acuerdo al Anexo XXII.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AGUA POTABLE Y CALIDAD DE VIDA.** Silva, A. 2015

<http://www.sld.cu/saludvida/hogar/temas.php?idv=14486>

2015-01-10

**AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES.** Aime, L. 2011

<http://es.slideshare.net/bendinatcomenius/biologia-project>

2015-01-25

**APLICACIONES DE LA ZEOLITA.** Lenntech. 2015

<http://www.lenntech.es/zeolitas-aplicaciones.htm>

2015-03-2015**ARBOLEDA, J.** Métodos Simplificados de Tratamiento de Agua. Lima-Perú.  
Editorial McGraw-Hill. 1972. pp. 229-231.

**CONTAMINACIÓN EN AGUAS SUBTERRÁNEAS.** Tecnun. 2015

<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/170AgSub.htm>

2015-02-25

**FORMASELECT, G.** Potabilización del Agua. España. FORMASELECT. 2007. pp. 32-40.

**FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.** Oocities. 2015

<http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>

2015-01-29

**INECC-CCA.** Manual de Métodos de Muestreo y Preservación de Muestras. México.  
PRONAME. 2010. pp. 5-28.

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN.** Norma INEN 1108:2016

Agua Potable Requisitos. Quito-Ecuador. INEN. 2006. 10p.

**METCALF, Y EDDY.** Ingeniería Sanitaria. 4ª ed., New York – USA. 2003. pp. 560- 655.

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.** Guías para la calidad del agua Potable. Ginebra-Suiza. OMS. 2006, pp. 105-154.

**PROCEDIMIENTO DE MUESTREO.** España. I.G. 2015

[http://aguas.igme.es/igme/publica/libro30/pdf/lib30/3\\_pro.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libro30/pdf/lib30/3_pro.pdf)

2015-03-08

**PRUEBA DE JARRAS.** Quijandría, S. 2015

<http://www.r-chemical.com/la-prueba-de-jarras-en-una-planta-de-tratamiento-de-agua-potable/>

2015-03-10

**ROMERO, Jaime.** Calidad del Agua. 3 ed. Bogotá-Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2009. pp. 233-245.

**ROMERO, Jaime.** Purificación del Agua. Bogotá-Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2006. pp. 81-85, 53-74.

**WEBER, W.** Control de la Calidad del Agua. Barcelona-España. Editorial Reverte. 2003. pp. 170-177.

## **ANEXOS**

**Anexo A:** NORMA TÉCNICA ECUATORIANA: NTE INEN 1108:2006 AGUA POTABLE.  
REQUISITOS.



**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito -Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2006**

**Segunda revisión**

---

---

**AGUA POTABLE. REQUISITOS.**

**Primera Edición**

**WATER DRINKING. SPECIFICATIONS.**

**First Edition**

---

**DESCRIPTORES:** Protección ambiental y sanitaria, seguridad,  
calidad del agua, agua potable. AL01.06-401

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	AGUAPOTABLE. REQUISITOS.	NTE INE N 1108:200 6
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p><b>2.1</b> Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p><b>3.1 Agua Potable.</b> Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.</p> <p><b>3.2 Agua Cruda.</b> Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas y microbiológicas.</p> <p><b>3.3 Límite máximo permisible.</b> Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano.</p> <p><b>3.4 UFC/ml.</b> Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.</p> <p><b>3.5 NMP.</b> Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los Tubos múltiples.</p> <p><b>3.6 µg/l.</b> (microgramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico-químicos.</p> <p><b>3.7 mg/l.</b> (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico-químicos.</p> <p><b>3.8 Microorganismo patógeno.</b> Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.</p> <p><b>3.9 Pesticidas.</b> Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repelar o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.</p> <p><b>3.10 Desinfección.</b> Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.</p> <p><b>3.11 Subproductos de desinfección.</b> Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.</p> <p><b>3.12 Radio nucleido.</b> Nucleidos radiactivos; nucleidos: conjunto de átomos que tienen núcleos con igual número atómico Z y mismo A.</p> <p><b>3.13 MBAS, ABS.</b> Sustancias activas al azul de metileno; Alquil Benceno Sulfonato.</p> <p><b>3.14 Cloro residual.</b> Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.</p> <p><b>3.15 Dureza total.</b> Es la cantidad de calcio y magnesio presente en el agua expresado como carbonato de calcio.</p>		

**3.16 Sólidos totales disueltos.** Fracción filtrable de los sólidos que corresponde a los sólidos coloidales y disueltos.

#### 4. DISPOSICIONES GENERALES

**4.1** Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos, no deberá ser superior a 100 UFC/ml

#### 5. REQUISITOS

##### 5.1 Requisitos Específicos

**5.1.1** El Agua Potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo Permissible
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	no objetable
Sabor	--	no objetable
pH	--	6,5 - 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH <sub>3</sub> )	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Clorolibrer residual*	mg/l	0,3 - 1,5
Cloruros, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,2
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/l	300
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	1,5
Fósforo, (P-PO <sub>4</sub> )	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, N-NO <sub>3</sub>	mg/l	10
Nitritos, N-NO <sub>2</sub>	mg/l	0,0
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	mg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO <sub>4</sub>	mg/l	200
Vanadio, V	mg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
<b>Radiactivos</b>		
Radiación total <input type="checkbox"/> **	Bq/l	0,1
Radiación total <input type="checkbox"/> ***	Bq/l	1,0



**Orgánicos**

Tensoactivos ARS(MRAS)  
Fenoles

mg/l

0,0

mg/l

0,0

**Sustancias Orgánicas****Límite máximo µg/l****Alcanos Clorinados**

- tetracloruro de carbono
- diclorometano
- 1,2dicloroetano
- 1,1,1-tricloroetano

2  
20  
30  
2000

**Etanos Clorinados**

- cloruro de vinilo
- 1,1dicloroeteno
- 1,2dicloroeteno
- tricloroeteno
- tetracloroeteno Hidroca

5  
30  
50  
70  
40

**rburos Aromáticos**

- benceno
- tolueno
- xileno
- etilbenceno
- estireno

10  
170

**Hidrocarburos totales de petróleo**

500

**(HTP) Hidrocarburos aromáticos**

200

**policíclicos (HAPs)**

20

- benzo [a]pireno
- benzo [a]fluoranteno
- benzo [k]fluoranteno
- benzo [ghi]pirileno
- indeno[1,2,3-

0,3

0,01  
0,03

**cd]pireno Bencenos Clorinados**

0,03

0,03

- monoclorobenceno
- 1,2-diclorobenceno
- 1,4-diclorobenceno
- triclorobencenos (total)

0,03

0,03

**di(2-etilhexil)adipato**

300

**di(2-**

1000

**etilhexil)ftalato acry**

300

**lamida epiclorohidri**

20

**nhexaclorobutadien**

80

o

8

**Ácido etilendiamina tetracético EDTA**

0,5

**ácido nitrotriácético**

0,4

**oxidotributiltin**

0,6

200

200

2

**Pesticidas****Límite máximo µg/l**

Isoproturon	9
Lindano	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	2
Metoxycloro	10
Molinate	6
Pendimetalin	20
Pentaclorofenol	9
Permetrin	20
Propanil	20
Piridato	100
Simazina	2
Trifluralin	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPA 2,4-DB	90
Dicloroprop	100
Fenoprop	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	2
Mecoprop	10
2,4,5-T	9

**Residuos de desinfectantes****Límite máximo µg/l**

Monocloramina, di- y tricloramina	3
Cloro	5

**Subproductos de desinfección****Límite máximo µg/l**

Bromato	25
Clorito	200
Clorofenoles	
- 2,4,6-triclorofenol	200
Formaldeído	900
Trihalometanos	
- bromoformo	100
- diclorometano	100
- bromodiclorometano	60
- cloroformo	200
Ácidos acéticos clorinados	
- ácido dicloroacético	
- ácido tricloroacético	50
Hidratoclorado	100
- tricloroacetaldeído Ace	
tonitrilos halogenados	
- dicloroacetónitrilo	
- dibromoacetónitrilo	10
- tricloroacetónitrilo	
Cianógeno clorado (como CN)	
	90
	100
	1
	70

**5.1.2** El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos Microbiológicos.

### Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100ml	
Coliformes fecales NMP/100	
ml	< 2*
Criptosporidium, número de	< 2*
quistes/100litros	ausencia
Giardia Lambia, número de	
quistes/100litros	ausencia

\* < 2 significa que en el ensayo del NMP utilizando una serie de 5 tubos por dilución, ninguno es positivo

- (1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.

## 6. INSPECCIÓN

### 6.1 Muestreo

**6.1.1** El muestreo para el análisis bacteriológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods)

**6.1.2** El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

## 7. MÉTODOS DE ENSAYO

**7.1** Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición.

**Anexo B: RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA CRUDA EN EL  
LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS DE LA “ESPOCH”.**

**ESPOCH**

**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

*Solicitado por:* Srta. Pamela Logroño Villamarin

*Fecha de análisis:* 2 de octubre de 2014

*Fecha de entrega de resultados:* 3 de octubre de 2014

*Tipo de muestra:* Agua para consumo doméstico

*Localidad:* Comunidad Nitiluisa Parroquia Calpi Cantón Riobamba

**TRABAJO DE TESIS**

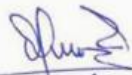
*Código:* 323-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	Und Co/Pt	< 15	10
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.70
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	456
Turbiedad	UNT	5	<0.1
Cloruros	mg/L	250	14.2
Dureza	mg/L	200	180.0
Calcio	mg/L	70	60.8
Magnesio	mg/L	30 - 50	6.8
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	40.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	40.8
Sulfatos	mg/L	200	52.0
Amonios	mg/L	< 0.50	< 0.01
Nitritos	mg/L	0.01	0.009
Nitratos	mg/L	< 10	1.400
Hierro	mg/L	0.30	0.020
Fluoruros	mg/L	< 1.5	1.280
Fosfatos	mg/L	< 0.30	1.070
Sólidos Totales	mg/L	1000	356.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	181.0

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

*Observaciones:* Valores de fosfatos fuera de norma

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS



# Anexo C: RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA CRUDA EN EL LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES “UNACH”.



## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 040 – 14

### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Srta. Pamela Logroño  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH  
**DIRECCIÓN:** Miguel Jijón y Eduardo Kingman

**INFORME Nº:** 040 – 14

**Nº SE:** 040 – 14

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 19 – 06 – 14

**TELÉFONO:** 0983554157

**FECHA DE INFORME:** 26 – 06 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua de vertiente, Comunidad Nítiluisa **TIPO DE MUESTRA:**

**IDENTIFICACIÓN:** MA – 080 -14 Nítiluisa Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 080-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H <sup>+</sup> ]	PE-LSA-01	7.39	+/- 0.08	19-06-14
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	502	+/- 8 %	19-06-14
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	0.32	N/A	19-06-14
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	56	+/- 6 %	19-06-14
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	1	N/A	19-06-14
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	12	N/A	19-06-14
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO <sub>4</sub> -E	42	N/A	19-06-14
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	2.00	N/A	19-06-14
* Nitratos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 NO <sub>3</sub> - E mod.	16.2	N/A	19-06-14
* Nitritos	mg/l	STANDARD METHODS 4500- NO <sub>2</sub> - B	0.008	N/A	19-06-14
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH <sub>3</sub> B&C - mod	0.42	N/A	19-06-14
* Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2340 - C	76	N/A	19-06-14
* Dureza Cálctica	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2340 - C	28	N/A	19-06-14
* Hierro	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Fe - 3111B	0.11	N/A	19-06-14
* Aluminio	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Al - 3111D	0.01	N/A	19-06-14
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0.01	N/A	19-06-14
* Cloruros	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cl E mod	2.5	N/A	19-06-14
* Fluoruros	mg/l	STANDARD METHODS	0.26	N/A	19-06-14

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
 - Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 2

L.S.A. Campus Master Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.





## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES




Nº SE: 040 – 14

		4500 - F - D mod			
				N/A	19-06-14
* Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2320 - B	34	N/A	19-06-14
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	< 2	N/A	19-06-14
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	< 2	N/A	19-06-14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.



-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

**Anexo D: RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA EN EL LABORATORIO “SAQMIC”.**



**EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA**

**CÓDIGO 323-14**

<b>CLIENTE:</b> Srta. Pamela Logroño		<b>TELÉFONO:</b> 0983554157	
<b>DIRECCIÓN:</b> Álamos 1			
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua de vertiente subterránea – Comunidad Nitiluisa.			
<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 06 de Octubre del 2014			
<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 06 de Octubre del 2014			
<b>EXAMEN FÍSICO</b>			
COLOR: Incoloro			
OLOR: Inoloro			
ASPECTO: Libre de material extraño			
PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100mL	Filtración por membrana	---	Ausencia
Coliformes fecales UFC/100mL	Filtración por membrana	<1	Ausencia
NORMA INEN 1108:2011			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 06 de Octubre del 2014			
<b>FECHA DE ENTREGA :</b> 07 de Octubre del 2014			
<b>RESPONSABLES:</b>			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"><div style="text-align: center;"> <b>Dra. Gina Álvarez R.</b></div><div style="text-align: center;"> <b>Servicio Analítico Químico y Microbiológico</b></div><div style="text-align: center;"> <b>Dra. Fabiola Villa</b></div></div>			
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.			



**Anexo E: RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA EN EL  
LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS “ESPOCH”.**

**ESPOCH**

**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

*Solicitado por:* Srta. Pamela Logroño Villamarin

*Fecha de análisis:* 3 de diciembre de 2014

*Fecha de entrega de resultados:* 4 de diciembre de 2014

*Tipo de muestra:* Agua para consumo doméstico

*Localidad:* Comunidad Nitiluisa Parroquia Calpi Cantón Riobamba

**TRABAJO DE TESIS**

*Código:* 323-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	Und Co/Pt	< 15	10
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.21
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	471
Turbiedad	UNT	5	0.1
Cloruros	mg/L	250	17.0
Dureza	mg/L	200	144.0
Calcio	mg/L	70	28.8
Magnesio	mg/L	30 - 50	17.5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	180.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	183.6
Sulfatos	mg/L	200	51.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.060
Nitritos	mg/L	0.01	0.000
Nitratos	mg/L	< 10	0.030
Hierro	mg/L	0.30	0.040
Fluoruros	mg/L	< 1.5	1.500
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.080
Sólidos Totales	mg/L	1000	380.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	184.0

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

*Observaciones:* Agua dentro de los parámetros de norma

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS





**Anexo F: RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA EN EL LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES “UNACH”.**



**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 063 – 14



**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Srta. Pamela Logroño  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH  
**DIRECCIÓN:** Miguel Jijón y Eduardo Kingman

**INFORME Nº:** 063 – 14  
**Nº SE:** 063 – 14

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 04 – 12 – 14

**TELÉFONO:** 0983554157

**FECHA DE INFORME:** 10 – 12 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua de vertiente, Comunidad Nitiluiza **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 126 -14 Nitiluiza Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA – 126-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H <sup>+</sup> ]	PE-LSA-01	7,30	+/- 0,08	04-12-14
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	518	+/- 8 %	04-12-14
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	0,17	N/A	04-12-14
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	376	+/- 6 %	04-12-14
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	3	N/A	04-12-14
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	123	N/A	04-12-14
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO <sub>4</sub> -E	41	N/A	04-12-14
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	0,07	N/A	04-12-14
* Nitratos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 NO <sub>3</sub> - E mod.	0,011	N/A	04-12-14
* Nitritos	mg/l	STANDARD METHODS 4500-NO <sub>2</sub> - B	0,00	N/A	04-12-14
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH <sub>3</sub> B&C - mod	0,22	N/A	04-12-14
* Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2340 - C	288	N/A	04-12-14
* Hierro	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Fe - 3111B	0,01	N/A	04-12-14
* Cloruros	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cl E mod	4,6	N/A	04-12-14

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 2

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.





## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006



Nº SE: 063 - 14

* Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2320 - B	88	N/A	04-12-14
* Calcio	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Ca 3111B	17,76	N/A	04-12-14
* Magnesio	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Mg - 3111B	6,71	N/A	04-12-14
* Bicarbonatos	mg/l	STANDARD METHODS 2340 - C	26	N/A	04-12-14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

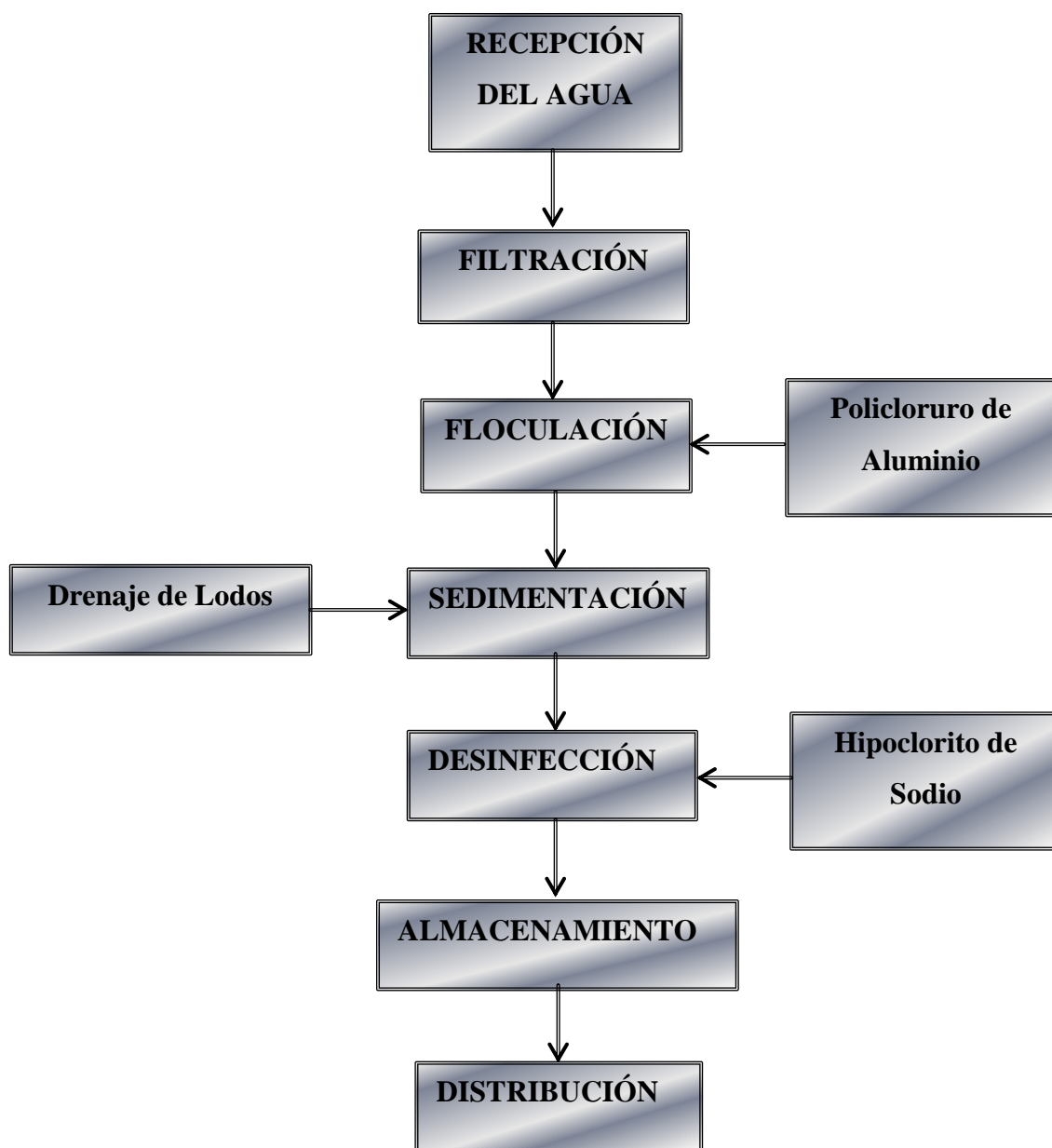
Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.



- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

**Anexo G:** DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA PROPUESTO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD NITILUISA.





**Anexo H:** SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AGUA EN LA COMUNIDAD NITILUISA.





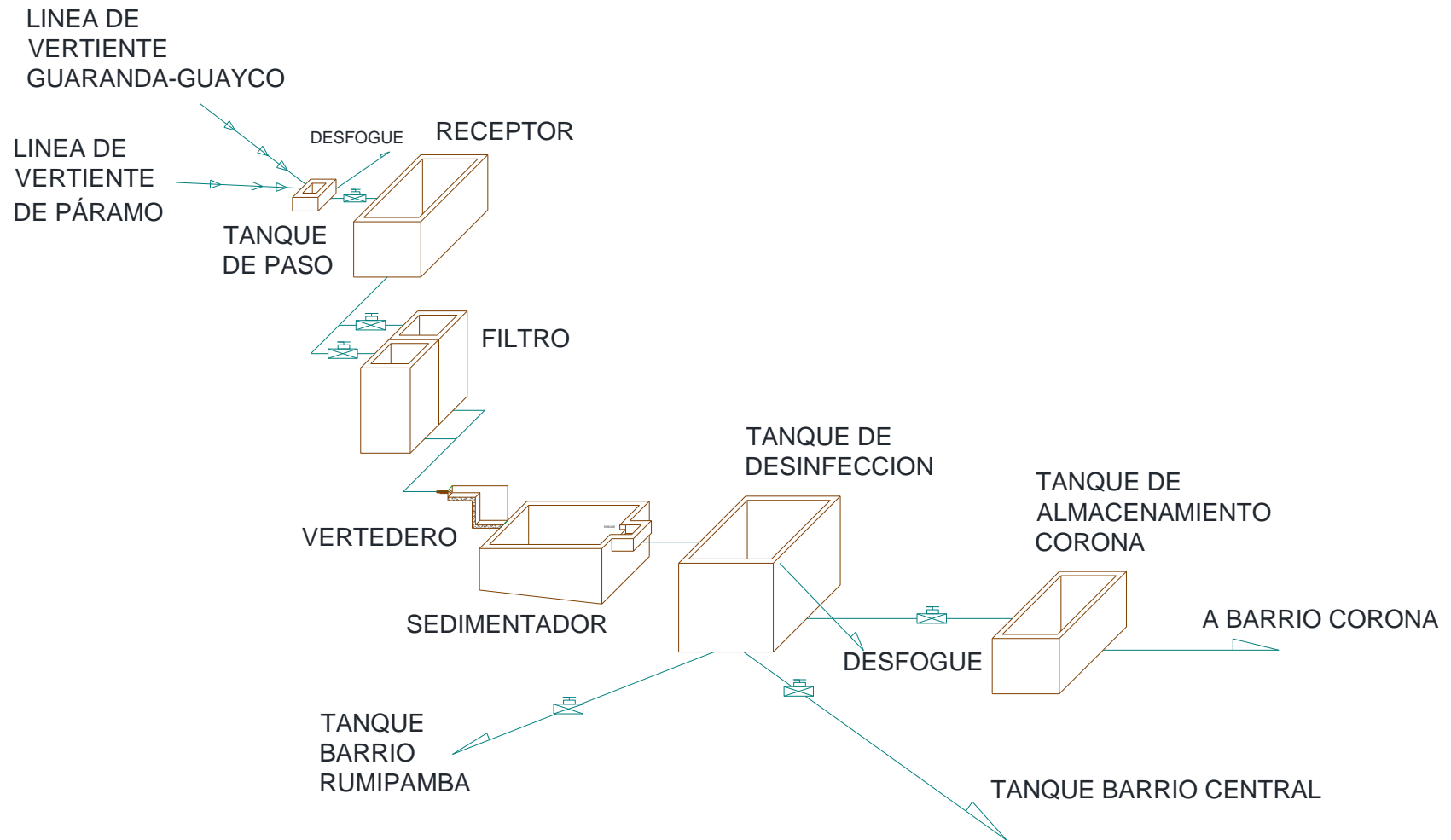
**Anexo I: SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AGUA EN LA COMUNIDAD NITILUISA.**



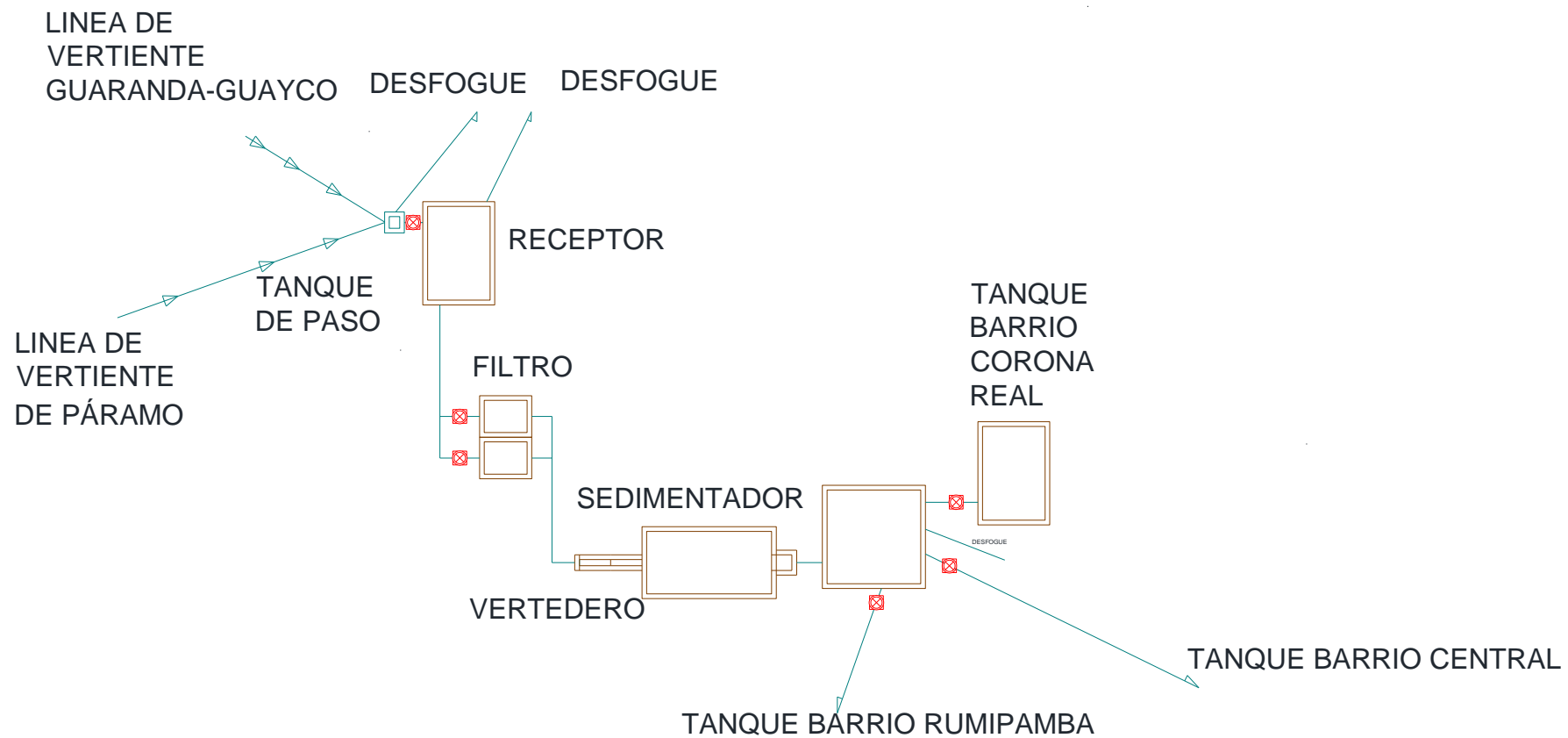
**Anexo J: PRUEBAS DE TRATABILIDAD O PRUEBA DE JARRAS.**



**Anexo K:** VISTA ISOMÉTRICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.



**Anexo L: VISTA EN PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.**





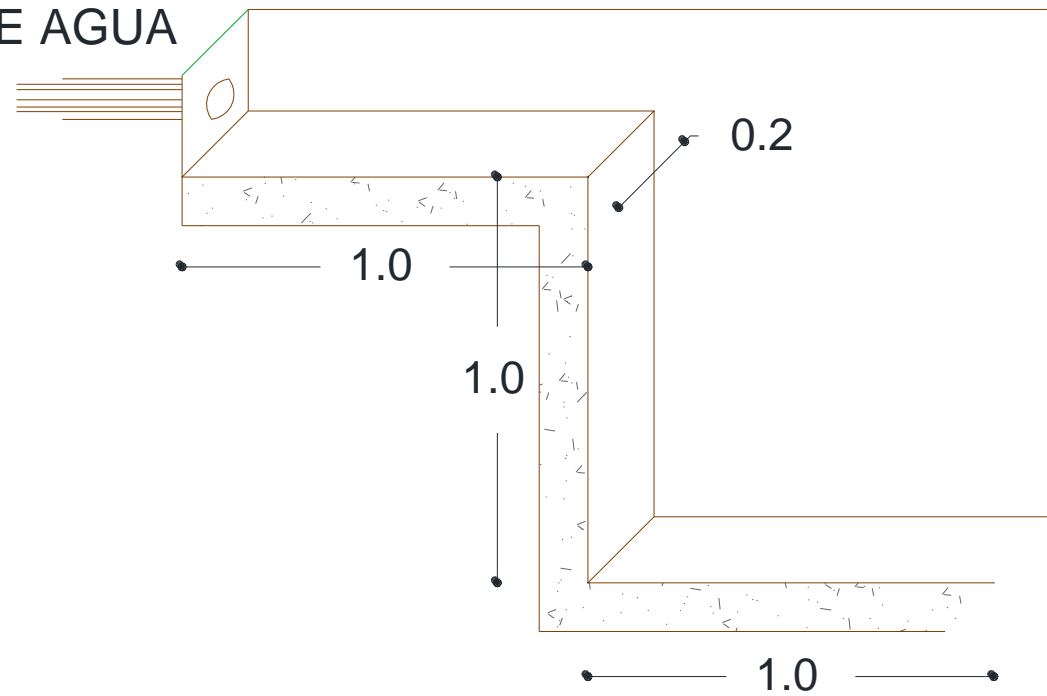
**Anexo M: DISEÑO FILTRO LENTO DE ZEOLITA.**

ENTRADA DE AGUA

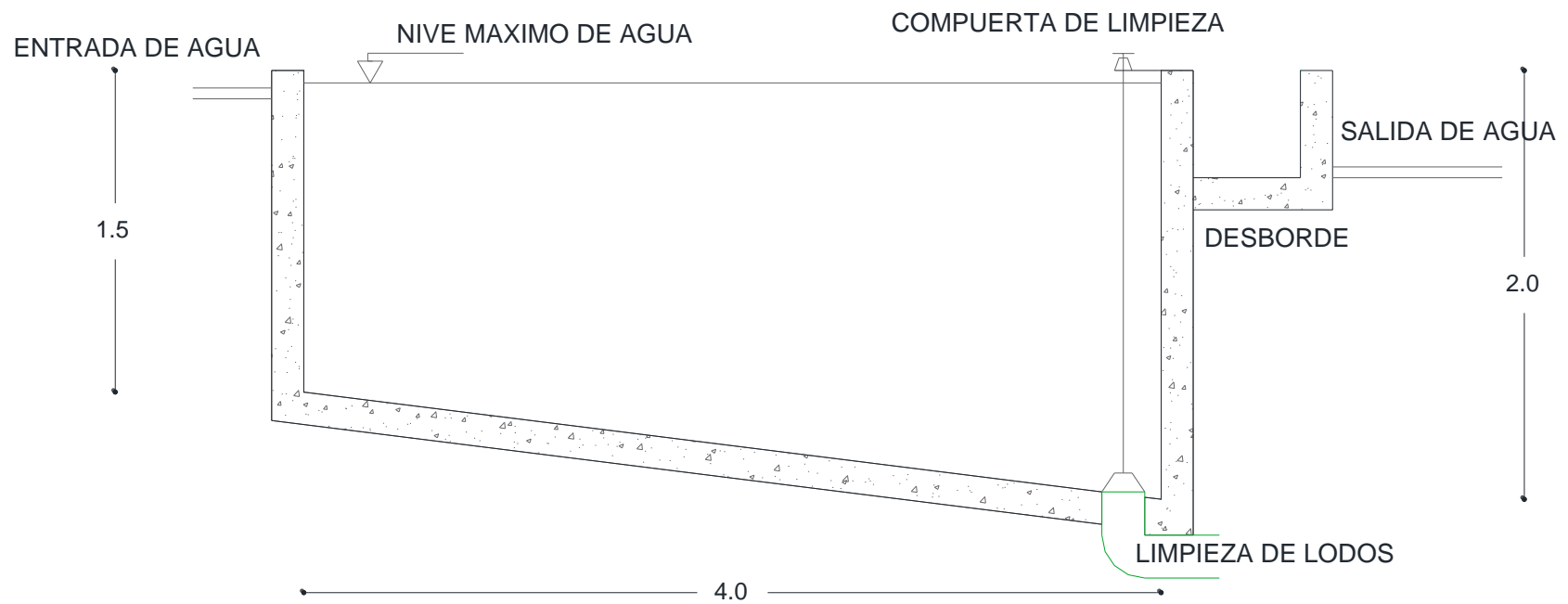


**Anexo N:** DISEÑO VERTEDERO RECTANGULAR.

ENTRADA DE AGUA



**Anexo O: DISEÑO SEDIMENTADOR RECTANGULAR.**



**Anexo P: COTIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS.**



N°0069-0013

<b>R-PCT1-4</b>	PROCESO DEVENTAS	20/06/2011
	COTIZACION	Edición1

Quito, 08 de abril de2015

Señorita  
**PAMELALOGROÑO**

Presente.-

**TESQUIMSA C.A.,** pone a su disposición la siguiente cotización:

**COTIZACIÓN**

ITEM	CANT.	UND.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
2	60	KG	<b>TQ- FLOCK-PCA-A(POLVO)</b> productocoagulante paraaguas	1,12	67,20
3	60	KG	<b>TQ- FLOCK-HNA</b> HIPOCLORITO DESODIO	0,88	52,80
4	1	PIE CU BIC	<b>ZEOLITA</b>	100,80	100,80
			SUBTOTAL		194,31
			12%I.V.A		26,49
			TOTAL		220,80

\* **Validez de la oferta:** 30días

\* **Plazo de entrega:** 48 horas una vez realizado elpedido.

\* **Forma de pago:** Crédito 30 días, previa solicitud decrédito.

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)  
Teléfonos: 02 2800 387 / 2486 684 / 2485 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445  
E-mail: [ventas@tesquimsa.com.ec](mailto:ventas@tesquimsa.com.ec) / [www.tesquimsa.com.ec](http://www.tesquimsa.com.ec)  
**Quito - Ecuador**





TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.  
*Profesionales al servicio de la Industria*



TESQUIMSA C.A., dispone de un Sistema Integrado de Gestión conformado por las siguientes normas:

**ISO 9001-2008:** Satisfacción al Cliente.

**ISO 14001-2004:** Cuidado del Medio Ambiente.

**OHSAS 18001-2007:** Seguridad y salud Ocupacional de los Trabajadores.

Atentamente, Ing.  
Angel Brito  
**ASESOR TECNICO**  
Telf: 0991486750

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)  
Teléfonos: 02 2800 387 / 2486 684 / 2485 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445  
E-mail: [ventas@tesquimsa.com.ec](mailto:ventas@tesquimsa.com.ec) / [www.tesquimsa.com.ec](http://www.tesquimsa.com.ec)  
**Quito - Ecuador**



## Anexo Q: HOJA TÉCNICA DE LA ZEOLITA.



TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.  
*Profesionales al servicio de la Industria*



### ZEOLITA GRANULADA

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA TÍPICA:

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.53%
SiO <sub>2</sub>	59.20%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.82%
Na <sub>2</sub> O	0.74%
MgO	1.42%
CaO	2.53%
K <sub>2</sub> O	1.15%
Pérdida al Fuego	17.60%

#### INTERCAMBIOCATIÓNICO:

Catión	meq/100g.
Mg	1.35
Ca	43.22
K	9.61
Na	50.33
TOTAL	104.51

**Color:**..... Blanco verdoso

**pH:**6.8

#### **GRANULOMETRÍA:**

Disponibles en mallas: 10 X 18

### **LAVADO DEL FILTRO LENTO DE ZEOLITA**

- ❖ La Zeolita es un material de larga durabilidad, el cambio del mismo se lo puede realizar cada tres años sin que reduzca su eficiencia, siempre y cuando su mantenimiento sea el adecuado.
- ❖ El filtro lento de Zeolita es recomendable lavarlo cada tres meses, para esto, se encuentra construido otro filtro lento de las mismas capacidades con el fin de facilitar la limpieza del primero.
- ❖ Se debe cerrar las válvulas de paso al filtro la noche antes de realizar la limpieza de éste y dejar filtrar con tasa declinante durante la noche para que no exista desperdicio de agua.
- ❖ Ya el siguiente día, las personas que vayan a realizar la limpieza deben estar listos con los materiales necesarios y de preferencia hacerlo a la luz del día.
- ❖ El lavado se realiza en contracorriente, es decir, el agua va a entrar por la parte inferior del tanque y saldrá por la parte superior, con el objetivo de eliminar toda la suciedad que exista. Se debe lavar bien la zeolita para que ésta no pierda su eficiencia.
- ❖ Pasados los tres años, cuando se realiza el cambio de la Zeolita, es recomendable realizar una limpieza total del filtro, lavando las paredes del tanque y el sistema de drenaje para después proceder a colocar la nueva Zeolita.

## Anexo S: HOJA TÉCNICA DEL POLICLORURO DE ALUMINIO.



### TQ- FLOC-PCA-A

#### COAGULANTE FLOCULANTE EN POLVO

**TQ-FLOC-PCA-A** es un producto en polvo que contiene en su formulación polímeros inorgánicos y está diseñado para dar un alto grado de clarificación tanto en aguas de proceso como en aguas residuales. Funciona mediante coagulación -floculación, extrayendo los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua.

#### PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS:

Aspecto físico:	Polvo
Color:	Amarillo a Marrón
pH:	ácido en todas las proporciones

#### MODO DE EMPLEO:

La dosificación del **TQ-FLOC-PCA-A** estará en función de la turbidez del agua a tratarse, pudiendo esta variar de 10 a 600 ppm dependiendo del tipo de proceso. Las pruebas de jarra nos darán un valor más exacto de su dosificación.

#### PRECAUCIONES:

**TQ-FLOC-PCA-A** puede causar irritación a la piel y a los ojos. Evitar el contacto prolongado o repetido con la piel. Se recomienda el uso de guantes de caucho y anteojos de seguridad.

#### PRESENTACION:

**TQ-FLOC-PCA-A** se expende en fundas de 25 Kilos.



**Anexo T: DOSIFICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO.**

**DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO**

- ❖ La dosificación del químico que en este caso es el Policloruro de Aluminio, comercialmente conocido como PAC, que en su presentación viene como polvo, se lo va a realizar por vía húmeda pesando la cantidad necesaria de éste según las pruebas de jarras.
- ❖ Posteriormente se debe aforar el caudal de agua que está ingresando al tanque de solución.
- ❖ Se debe preparar la solución de PAC al 1% y calibrar la bomba dosificadora para una correcta dosificación del químico.
- ❖ Y por último, se debe bombear la solución de Policloruro de Aluminio mediante la bomba hasta el punto de mezcla.

## Anexo U: HOJA TÉCNICA DEL HIPOCLORITO DE SODIO.



### TQ FLOCHNA

#### DESCRIPCION:

EL TQ FLOCHNA es un producto líquido tipo inorgánico, especialmente diseñado para oxidación y desinfección, en el tratamiento de aguas.

EL TQ FLOCHNA contiene en su formulación cloro activo de liberación controlada, otorgando total poder de oxidación y desinfección tipo bactericida.

#### PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS:

Forma física:	líquida
Color:	amarillento
pH:	10.2 $\pm$ 0.2
Concentración:	10% como cloro activo

#### MODO DE EMPLEO:

EL TQ FLOCHNA se recomienda utilizar a temperaturas entre 10 y 25°C.

#### PRECAUCIONES:

Evitar siempre el contacto del producto puro sobre la piel y manos. Evitar la mezcla con productos ácidos y no dejar el producto expuesto a la luz solar. Mantener los envases bien cerrados.

En caso de entrar en contacto con los ojos, lavarlos con abundante agua por 15 minutos y solicitar atención médica. No debe ser ingerido.

#### PRESENTACION:

EL TQ FLOCHNA se expende en envases de 250 Kg.

**Anexo V: DOSIFICACIÓN DEL HIPOCLORITO DE SODIO.**

**DOSIFICACIÓN DEL HIPOCLORITO DE SODIO**

- ❖ La dosificación del Hipoclorito de Sodio se va a realizar de acuerdo a los cálculos realizados, es decir, se deberá utilizar 1,5 mg/L
- ❖ Para esto, se va a utilizar un hipoclorador por goteo, el que deberá colocarse encima del tanque de almacenamiento de agua para colocar la solución directamente a este tanque.
- ❖ Se debe conectar la entrada del dosificador a la salida del tanque de almacenamiento del desinfectante.
- ❖ La tubería de alimentación debe ir conectada desde el dosificador hasta el tanque que se va a desinfectar.
- ❖ El control de dosificación debe estar cerrado, para después abrir las llaves del tanque de almacenamiento de desinfectante y poder llenar el tanque dosificador.
- ❖ Cuando el tanque dosificador ya está lleno, se debe mover el dispositivo de control hasta obtener el caudal necesario de Hipoclorito de Sodio, para esto se puede utilizar un cronómetro y un recipiente.